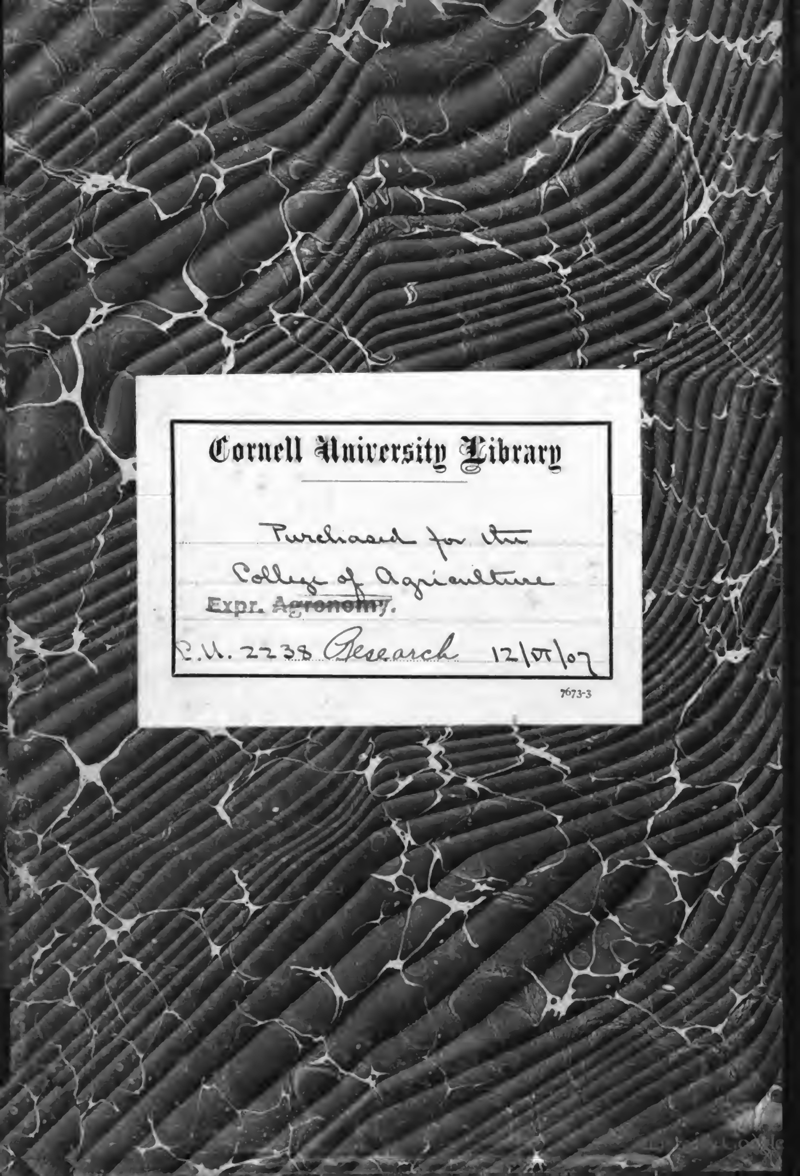
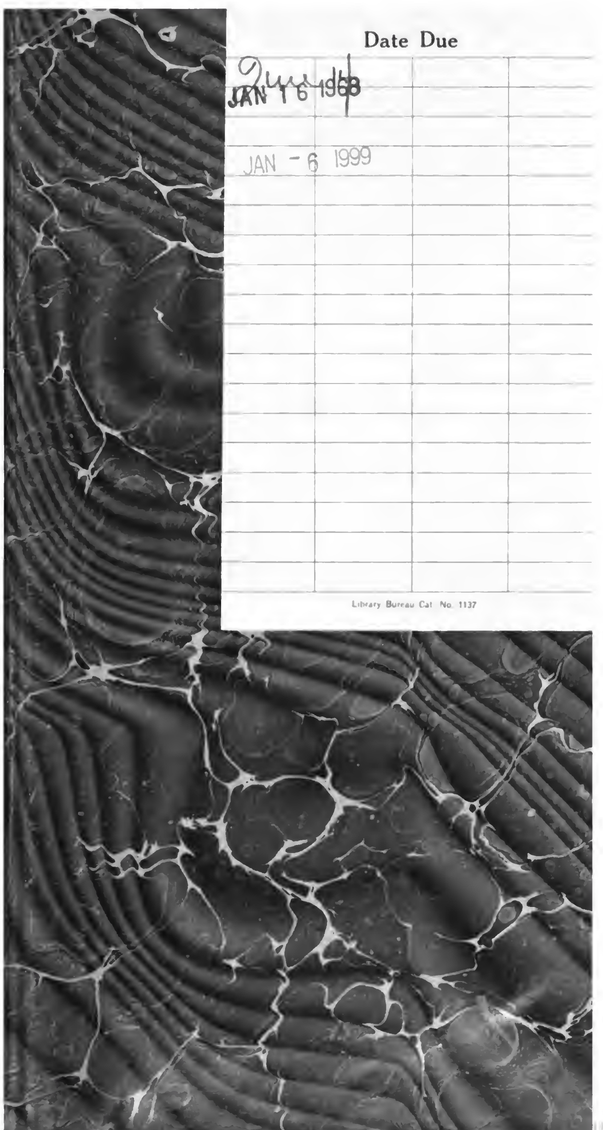
Die Zersetzung der organischen Stoffe und die Humusbildun...

Ewald Wollny



Cornell University Library
Purchased for the
College of Agriculture
Expr. Agronomy.
C.U. 2238 Research 12/VI/07
7673-3



Date Due
JAN 16 1968
JAN - 6 1999
Library Bureau Cat. No. 1137



DIE

ZERSETZUNG DER ORGANISCHEN STOFFE

UND DIE

HUMUSBILDUNGEN.

MIT RÜCKSICHT AUF DIE

BODENCULTUR.

VON

DR. EWALD WOLLNY,

ORD. PROFESSOR DER LANDWIRTHSCHAFT AN DER KÖNIGL. BAYER. TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN MÜNCHEN.

MIT 52 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.



HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.
1897.

DEM

BEGRÜNDER UND HOCHVERDIENTEN LANGJÄHRIGEN LEITER

DER

DEUTSCHEN LANDWIRTHSCHAFTS-GESELLSCHAFT

HERRN

MAX VON EYTH,

KÖNIGL. GEHEIMEN HOFRATH

IN AUFRICHTIGER VEREHRUNG

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

Vorwort.

In dem vorliegenden Werk hat der Verfasser sich die Aufgabe gestellt, die Resultate eigener und fremder Untersuchungen über die Processe bei der Zersetzung der organischen Stoffe und die hierbei entstehenden festen Producte (Humusbildungen) systematisch zusammenzustellen und aus den auf diese Weise gewonnenen Gesetzmässigkeiten die Grundsätze abzuleiten, welche bei einer rationellen Behandlung und Ausnutzung der zahlreichen und in grossen Mengen sich anhäufenden, resp. verwendeten Materialien organischen Ursprungs im land- und forstwirthschaftlichen Betriebe vornehmlich zu berücksichtigen sind. Von dem Bestreben geleitet, den Gegenstand, den Bedürfnissen sowohl der Wissenschaft als auch der Praxis entsprechend, möglichst erschöpfend zu behandeln und dadurch das Interesse für denselben nach verschiedenen Richtungen zu erwecken, wurden vom Verfasser nicht allein die einschlägigen Forschungen auf chemischem Gebiete, sondern auch jene in das Bereich der Betrachtungen gezogen, welche in bacteriologischer, pflanzenphysiologischer und physikalischer Hinsicht bei Beurtheilung der in Frage kommenden Naturprocesse Beachtung zu finden verdienen. Unter derartigen Umständen dürften die Darlegungen in den nachfolgenden Zeilen nicht nur für die Bodencultur, sondern gleichergestalt für die Hygiene und grösstentheils auch für die Geologie und Landeskunde Anhaltspunkte gewähren und insofern einem allgemeineren Interesse sich diensam erweisen.

Wenngleich die bisher festgestellten Thatsachen auf dem in Rede stehenden Gebiete noch keineswegs als ausreichend zu betrachten sind, um mit Hilfe derselben für die betreffenden, meist äusserst complicirten Naturerscheinungen in allen Fällen eine genügende Erklärung ausfindig machen zu können, so sind dieselben doch zur Zeit bereits in einem solchen Umfange gefördert, dass der in diesem Buch unternommene Versuch, die vielfach unvermittelt nebeneinanderstehenden Ergebnisse der Wissenschaft zu einem harmonischen Ganzen zu verarbeiten und die noch theilweise auseinandergehenden Urtheile kritisch zu beleuchten, nicht als verfrüht betrachtet werden kann. Im Uebrigen soll nicht unerwähnt gelassen werden, dass sich der Verfasser befleissigt hat, den Gegenstand so populär zu behandeln, dass sich auch der mit den bezüglichen Naturwissenschaften weniger vertraute Land- und Forstwirth bei aufmerksamem Studium das richtige Verständniss für die entwickelten Grundsätze verschaffen kann.

München, den 1. October 1896.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichniss.

Seite.

IV. Morphologie der Mikroorganismen der Zersetzungsvorgänge.

V. Verbreitung und Vorkommen der Mikroorganismen der Zersetzungsvorgänge.

VI. Die Lebensbedingungen der Mikroorganismen.

VII. Die Bedingungen der Zersetzung der organischen Stoffe.

VIII. Die Zersetzung der organischen Stoffe in der Natur.

Zweiter Abschnitt.

Die Producte der Zersetzung der organischen Stoffe. Die Humusbildungen.

I. Die Ablagerung der Humusstoffe.

II. Classification und besondere Eigenschaften der verschiedenen Humusbildungen.

Dritter Abschnitt.

Die künstliche Beeinflussung der Zersetzung der organischen Stoffe.

I. Allgemeine Gesichtspunkte.

II. Die Beeinflussung der Zersetzung der organischen Stoffe durch Abänderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens.

III. Die Beeinflussung der Zersetzungsvorgänge bei der Herstellung und Benützung der Düngemittel organischen Ursprungs.

IV. Die Beeinflussung der Zersetzungsprocesse bei der Conservirung der Futtermittel.

Die in Form von pflanzlichen und thierischen Abfällen zur Düngerbereitung (Stallmist, Compostdünger) oder als grüne Pflanzen (Gründüngung) verwendeten, sowie als Ernterückstände, Humus oder Thierleichen im Boden, oder als Streudecke auf demselben vorkommenden organischen Stoffe unterliegen bekanntlich verschiedenen chemischen Veränderungen, welche in hervorragender Weise für die Fruchtbarkeit des Kulturlandes mitbestimmend einwirken. Die Kenntniss der betreffenden Vorgänge bietet neben dem wissenschaftlichen auch insofern ein hervorragendes praktisches Interesse, als durch verschiedene Maassnahmen auf den Verlauf derselben, sowie auf die Qualität der verschiedene wichtige Pflanzennährstoffe umfassenden Endprodukte ein wesentlicher Einfluss ausgeübt werden kann.

Sieht man zunächst von Details ab, so lassen die in der Natur vor sich gehenden Processe bei der Zersetzung der organischen Substanzen nach zwei Richtungen Unterschiede erkennen, welche vornehmlich durch die Gegenwart und Abwesenheit des Sauerstoffs bedingt und dadurch charakterisirt sind, dass in dem einen Fall Oxydations-, in dem anderen Reductionsprocesse in die Erscheinung treten.

Erster Abschnitt.

Die chemischen und physiologischen Processe bei der Zersetzung der organischen Stoffe.

I. Die chemischen Vorgänge bei der Zersetzung der organischen Stoffe.

Unter dem ungehinderten Zutritt der atmosphärischen Luft entstehen bei dem Zerfall der organischen Stoffe unter gewissen Bedingungen Kohlensäure, Wasser, Ammoniak (und freier Stickstoff), wobei die mineralischen Stoffe, welche gewissermassen von der organischen Substanz eingeschlossen und in diesem Zustande nicht assimilirbar sind, frei werden und zum grössten Theil hierdurch in eine aufnehmbare Form übergehen. Der Zerfall der in Rede stehenden Materialien hat sonach unter diesen Umständen die Bildung werthvoller aufnehmbarer Nährstoffe (Ammoniak und Mineralstoffe) oder solcher Verbindungen zur Folge, welche, wie die Kohlensäure durch Förderung der Verwitterung ungelöster, aber lösbarer Mineralstoffe, indirect einen günstigen Einfluss auf die Fruchtbarkeit des Bodens ausüben.

Der beschriebene Vorgang, welchen man als

1. Verwesung (Eremakausis)[1])

bezeichnet, ist hiernach durch Verflüchtigung der organischen Stoffe unter Zurücklassung der nicht flüchtigen, zum grössten Theil in den assimilirbaren Zustand übergehenden Mineralstoffe gekennzeichnet.

Für die Betheiligung des Sauerstoffs der Luft an den bezüglichen Processen spricht nicht allein die Thatsache, dass der in der organischen Substanz enthaltene Sauerstoff zur Oxydation des Kohlenstoffs bei Weitem nicht genügen würde, sondern auch die zuerst von *Lévy* und *Boussingault*[2]) und später von *J. von Fodor*[3]) gemachte Beobachtung, dass die Bodenluft in dem Maasse sauerstoffärmer als sie kohlensäurereicher ist, und zwar derart, dass das Volumen der Kohlensäure und des Sauerstoffs immer ziemlich genau dasselbe ist. So fanden erstgenannte Forscher folgendes Verhältniss:

		Volumprocente.		
Bodenart.	Kulturart.	Kohlensäure.	Sauerstoff.	Summa.
Sandboden, gedüngt	—	9,74	10,35	20,09
Sandboden	Weinberg	1,06	19,72	20,78
Sandboden mit viel Steinen	Wald	0,87	19,61	20,48
Sandboden, gedüngt	Spargel	1,54	18,80	20,34
Grube mit Holzerde	—	3,64	16,45	20,09
Muschelkalk	Runkelrüben	0,87	19,71	20,58
Schwarzer Thonboden	Topinambeur	0,66	19,99	20,65
Fruchtbarer feuchter Boden	Wiese	1,79	19,41	21,20.

In 19 Analysen der Bodenluft ermittelte *v. Fodor* den Gehalt an Kohlensäure und Sauerstoff, wie folgt:

	Volumprocente.		
	Kohlensäure.	Sauerstoff.	Summa.
Bodenluft	2,54	18,33	20,87
Atmosphärische Luft . .	0,04	20,96	21,00.

Man bemerkt deutlich, dass der Sauerstoffgehalt der Bodenluft in dem Maasse abnimmt, als die Kohlensäuremenge in derselben ansteigt. Im Zusammenhalt mit anderweitigen Thatsachen wird hieraus geschlossen werden dürfen, dass der Sauerstoffgehalt der Luft an der Oxydation des Kohlenstoffs einen hervorragenden Antheil nimmt.

Die stickstoffhaltigen, hauptsächlich in Form von Eiweissstoffen und amidartigen Verbindungen vorhandenen Bestandtheile der Pflanzen- und Thierreste unterliegen Veränderungen, welche schliesslich die Bildung von Ammoniak zur Folge haben. Der betreffende Process ist nach den Untersuchungen von *E. Marchal*[4]) mit kräftigen Oxydationserscheinungen verbunden, insofern bei der Entstehung des Ammoniaks beträchtliche Mengen von Sauerstoff verbraucht und entsprechende Mengen von Kohlen-

---

[1]) Nach *E. W. Hilgard.* Von ἠρέμα still, und καῦσις, Verbrennung.

[2]) Jahresbericht der Chemie. 1852. S. 783.

[3]) Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege. 1875. Bd. VII. S. 205 bis 237.

[4]) Bulletin de l'Académie belgique. 1893. Sér. 3. T. XXV. p. 727. — Annales agronomiques. T. XIX. Nr. 10. p. 506.

säure gebildet werden. Der Sauerstoff greift die Elemente des Eiweisses an, den Kohlenstoff in Kohlensäure, den Schwefel in Schwefelsäure und den Wasserstoff in Wasser verwandelnd, während das Ammoniak gewissermassen als Rückstand des Eiweisses übrig bleibt.

Das Ammoniak ist in allen Fällen das erste als Pflanzennährstoff auftretende Product der Verwesung. Dasselbe bleibt indessen in der Regel als solches nicht bestehen, sondern wird bei ungehindertem Zutritt der atmosphärischen Luft oxydirt, zunächst zu **salpetriger Säure**, demnächst zu **Salpetersäure**.

Diese Vorgänge lassen sich durch folgende Gleichungen darstellen:

$$NH_3 + O_3 = HNO_2 + H_2O$$

Ammoniak Sauerstoff — Salpetrige Säure — Wasser.

$$HNO_2 + O = HNO_3$$

Salpetrige Säure — Sauerstoff — Salpetersäure.

Diese Processe, mit **Nitrification** bezeichnet, verlaufen in dem durchlüfteten Boden mit grosser Schnelligkeit. Es spricht dafür einerseits die Thatsache, dass das Ammoniak unter den bezeichneten Verhältnissen nur in geringen Mengen in der Ackererde auftritt, andererseits die von verschiedenen Forschern gemachte Beobachtung der schnellen Umwandlung des durch Düngemittel dem Boden zugeführten Ammoniaks in Salpetersäure. So fand z. B. *W. Wolf*[1]) in einer Ackererde von 20 cm Tiefe pro ha in kg:

Stickstoff	Thonschiefer.	Grauwacke.	Gneiss.	Gneiss.	Grünstein.	Rothliegendes.
in Form von Salpetersäure	271,50	435,20	467,8	82,1	521,6	552,6
„ „ „ Ammoniak	26,19	19,15	27,3	6,3	89,4	27,9.

Werden dem Boden ammoniakalische Düngemittel einverleibt, wie dies beispielsweise bei Düngungen mit Stalldünger, Jauche oder Spüljauche der Fall ist, so tritt sehr bald eine kräftige Oxydation ein, die sich dadurch documentirt, dass das aus dem Boden abfliessende Wasser grosse Mengen von Nitraten enthält. Beobachtungen solcher Art wurden von *H. Marié Davy*[2]), *A. Lévy*[3]), *Frankland*[4]), *J. B. Lawes*, *J. H. Gilbert* und *R. Warington*[5]) gemacht.

Marié Davy brachte in ein 2 m hohes Glasgefäss ein Gemisch von Kies und Sand und goss auf die Bodensäule täglich ein Liter Spüljauche. Die Untersuchung letzterer sowie des aus dem Boden abgeflossenen Wassers zeigte deutlich die Umwandlung des Ammoniaks in Salpetersäure, denn es wurde gefunden (pro Liter in mgr) in dem

	Spülwasser	Drainwasser
Ammoniakstickstoff . .	20,6	1,7
Salpeterstickstoff . . .	0,8	21,5.

[1]) Amtsblatt für die landw. Vereine im Königr. Sachsen 1872. S. 1. — Siehe ferner: *von Fodor.* Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. II. Abtheilung. Braunschweig 1882. S. 60.

[2]) Journal d'agriculture pratique. 1882. T. I. Nr. 24. p. 817.

[3]) Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour l'an 1884. Paris. p. 408.

[4]) River Pollution Commission. Reports of the commissioners, appointed in 1868 to inquire into te best means of preventing the pullution of rivers.

[5]) Journal of the royal agricultural society. Vol. XVII, XVIII u. XIX.

Sehr lehrreich in Bezug auf vorstehende Verhältnisse sind auch die Resultate der von *A. Lévy* angestellten Untersuchungen über die Zusammensetzung der zur Berieselung benutzten Cloakenwässer und der von den (Pariser) Rieselfeldern abfliessenden Drainwässer. In 1 Liter Flüssigkeit waren in mgr enthalten

Ammoniakstickstoff:

1882.	März.	April.	Mai.	Juni.	Juli.	Aug.	Septbr.	Oktbr.	Mittel.
Cloakenwasser	17,4	20,7	21,0	28,7	29,1	32,6	21,1	—	**24,4**
Drainwasser (Asnières) . .	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	**0,9**
„ (Cases) . .	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	0,9	0,8	0,9	**0,9**
„ (Epinay) . .	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	**0,8**
„ (Moulin de Cage)	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	**0,9**

Salpeterstickstoff:

1882.	März.	April.	Mai.	Juni.	Juli.	Aug.	Septbr.	Oktbr.	Mittel.
Cloakenwasser	1,4	0,9	1,0	0,8	1,1	0,4	—	—	**0,9**
Drainwasser (Asnières) . .	23,7	24,8	25,5	25,3	23,9	23,3	—	—	**24,4**
„ (Cases) . . .	27,9	18,4	22,9	29,6	32.5	31,3	—	—	**27,1**
„ (Epinay) . .	19,9	22,9	21,1	19,0	22,6	23,2	26,6	—	**22,2**
„ (Moulin de Cage)	17,9	20,6	17,4	19,2	18,8	19,9	20,1	—	**19,1**

Aus diesen Zahlen lässt sich ohne Weiteres entnehmen, dass der in Form von Ammoniak dem Boden zugeführte Stickstoff fast vollständig zu Salpetersäure oxydirt wird, denn während die aufgebrachte Flüssigkeit nur Ammoniak und Spuren von Salpetersäure enthielt, trat in der durch den Boden gegangenen und abfliessenden fast ausschliesslich letztere Verbindung auf. In Uebereinstimmung hiermit stehen die von *Lawes*, *Gilbert* und *Warington* nachgewiesenen Stickstoffverluste, welche das Ackerland durch die Drainwässer erleidet.

Ob bei ungehindertem Zutritt des Sauerstoffes aus den stickstoffhaltigen Bestandtheilen der verwesenden pflanzlichen und thierischen Materialien freier Stickstoff entbunden wird, wie vielfach angenommen wird, ist eine Frage, welche mit Sicherheit noch nicht gelöst ist. Verschiedene diesbezügliche Versuche sind unter Bedingungen angestellt worden, welche die Wirkungen des Sauerstoffs abschwächen und zu einem Fäulnissprocess, d. h. zu jenen chemischen Vorgängen Veranlassung geben mussten, welche sich bei beschränktem Luftzutritt vollziehen. Wenn man z. B. die der Untersuchung unterzogenen stickstoffhaltigen Substanzen mit so grossen Wassermengen anrührt, dass sie einen Brei bilden, so sind sie für Luft unzugänglich. In gleicher Weise ist der Zutritt derselben zu dem sich zersetzenden Material ein beschränkter, wenn man letztere in abgeschlossene Gefässe bringt. Selbst wenn dieselben hin und wieder gelüftet werden, entspricht die Versuchsanordnung nicht den natürlichen Verhältnissen, unter welchen die Ventilation, z. B. in der porösen Ackererde oder in einem lockeren Stallmisthaufen, eine weitaus ergiebigere ist. Die nach solchen Methoden von *J. König* und *J. Kiesow*[1]), *A. Morgen* und *J. König*[2]), *B. E. Dietzell*[3]) und *H. B. Gibson*[4]) u. s. w. ausgeführten Versuche können demnach für die vorliegende Frage nicht verwerthet werden. Dass die in denselben

[1]) Landw. Jahrbücher. Bd. II. 1873. S. 107.

[2]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XXX. 1884. S. 199—216.

[3]) Zeitschrift des landw. Vereins in Bayern. 1882. Märzheft.

[4]) *H. B. Gibson.* Ueber die Entbindung freien Stickstoffs bei der Fäulniss. Inaugural-Dissertation. Baltimore. 1893. (Englisch.)

verwendeten Substanzen nicht dem hier in Rede stehenden Oxydationsprocess ausgesetzt waren, ergiebt sich überdies aus dem Fehlen der Salpetersäure in dem Versuchsmaterial, welche, wie die oben mitgetheilten Versuchsergebnisse hinlänglich darthun, in grossen Mengen auftritt, sobald die Bedingungen zu kräftigen Oxydationen gegeben sind. Ausserdem deutet der in fast allen angezogenen Untersuchungen beobachtete unangenehme penetrante, wahrscheinlich von Fettsäuren herrührende Geruch der stickstoffreichen Stoffe darauf hin, dass statt eines Verwesungs- ein Fäulnissprocess in der Masse eingetreten war.

Die nach der sogen. Differenzmethode, d. h. mittelst gewichtsanalytischer Bestimmung des Stickstoffgehaltes der unter Luftzutritt behandelten organischen Substanz vor und nach dem Versuche angestellten Beobachtungen ergaben gleichergestalt kein klares Bild darüber, ob bei der Verwesung Stickstoff im freien Zustand gebildet werde, weil dieselben nur darthun können, ob Stickstoff überhaupt in Verlust geräth, aber nicht, ob derselbe als Element oder als Sauerstoffverbindung (Stickoxyd, Stickoxydul) austritt. Die in dieser Richtung angestellten Versuche ergaben kein ganz übereinstimmendes Resultat. Während *B. Tacke*[1]) fand, dass der Nitrificationsprocess bei regem Luftwechsel Stickstoffverluste durch Freiwerden des Elementes zur Folge hat und dieser Verlust sonach an die Salpeterbildung geknüpft ist, zeigen die Versuche von *H. Immendorff*[2]), dass solche Stickstoffverluste auch eintreten können, wenn Verwesungsprocesse bei hinreichender Durchlüftung ohne jede Bildung von Salpetersäure verlaufen.

Eine ungleich grössere Zuverlässigkeit als die Differenzmethode bietet die Gasanalyse, weil sie allein zeigt, ob der aus dem Versuchsmaterial entwichene Stickstoff wirklich in die elementare Form übergegangen ist, und selbst ausserordentlich geringe Stickstoffmengen nachzuweisen erlaubt. Die nach diesem Verfahren von *A. Ehrenberg*[3]) ausgeführten Versuche lieferten das Ergebniss, dass bei Anwesenheit reichlicher Mengen von Sauerstoff, sowohl bei directer Zersetzung der organischen Substanzen, als bei der Ueberführung von Ammonsalzen in Nitrate freier Stickstoff nicht entwickelt wird. Demgegenüber fand *H. Immendorff*[4]) in seinen gasanalytischen Untersuchungen, dass bei der Nitrification des Ammoniaks, wenn dieselbe bei reichlicher Ventilation verläuft, Stickstoffverluste durch Auftreten freien Stickstoffs stattfinden können. In ähnlichem Sinne fielen die Ergebnisse einiger Versuche von *B. Tacke*[5]) und *E. Godlewski*[6]) aus. Letzterer fand, wie *Immendorff*, dass bei der Nitrification des Ammoniaks zu salpetriger Säure ein Theil des Stickstoffs in gasförmigem Zustand, und zwar als solcher und nicht als Stickstoffoxydul übergeht.

Wie man sieht, haben auch diese nach exacter Methode angestellten Versuche kein übereinstimmendes Resultat ergeben, eine Erscheinung, deren Ursachen vornehmlich auf die Schwierigkeiten bei Ausführung der betreffenden Experimente zurückzuführen sind. Diese bestehen grösstentheils darin, dass sich die Bedingungen zu einer ununterbrochenen Oxydation dauernd kaum erhalten lassen, und dass sonach während

[1]) Landw. Jahrbücher. Bd. XVIII. 1889. S. 439.
[2]) Landw. Jahrbücher. Bd. XXI. 1892. S. 281.
[3]) Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. XI. 1887. S. 145—179 u. 438—471.
[4]) a. a. O. S. 300.
[5]) a. a. O.
[6]) Anzeigen der Akademie der Wissenschaften in Krakau. December 1892.

des Versuches Phasen eintreten, in welchen statt der Verwesung Fäulnissvorgänge sich geltend machen, bei welchen, wie weiter unten gezeigt werden soll, allerdings unter gewissen Umständen freier Stickstoff entwickelt wird. Im Uebrigen ist aber auch die Zahl der bisher angestellten Beobachtungen vollständig unzureichend, um die vorwürfige Frage der endgiltigen Lösung entgegenzuführen. Dies wird erst dann möglich sein, wenn durch eingehendere Untersuchungen die Lebensbedingungen der bei den betreffenden Vorgängen betheiligten Mikroorganismen (siehe unten) und die chemische Zusammensetzung sämmtlicher Producte der Verwesung festgestellt sein werden. So lange solche Versuche nicht vorliegen, wird man die Frage, ob bei der Verwesung sticktoffhaltiger organischer Stoffe direct oder nach vorgängiger Salpeterbildung freier Stickstoff entbunden wird, als eine offene bezeichnen müssen[1].

Wie alle Oxydationserscheinungen, so ist auch die langsame Verbrennung (Eremakausis) der organischen Substanzen mit Wärmeentwickelung verknüpft, welche sich je nach äusseren Umständen sehr verschieden gestaltet. Dass die die Zersetzung begleitende Zunahme der Temperatur nur bei Zutritt der Luft sich bemerkbar macht, zeigen besonders die Versuche von *U. Gayon*[2], welcher Stalldünger in zwei 1 cbm fassende Gefässe brachte, von denen das eine auf allen Seiten durchlöchert, das andere dicht verschlossen war, und in verschiedenen Tiefen die Temperatur ermittelte. Es stellte sich hierbei folgendes heraus:

Datum.	Bei Luftzufuhr				Ohne Luftzufuhr			
	10 cm ° C.	25 cm ° C.	50 cm ° C.	75 cm ° C.	10 cm ° C.	25 cm ° C.	50 cm ° C.	75 cm ° C.
1. Tag Mittags	12,0	12,0	12,0	13,0	15,0	15	15	17
Abends	16,5	21,0	25,0	27,0	20,0	19	18	20
2. Tag Mittags	59,0	68,0	64,0	52,0	15,0	22	18	18
Abends	72,0	72,0	67,0	59,0	17,0	18	18	18
3. Tag Mittags	72,0	70,0	66,0	60,0	12,0	16	17	16
Abends	72,0	69,5	66,0	59,0	12,0	15	16	15
4. Tag Mittags	68,0	66,0	62,0	55,0	12,0	14	15	14
Abends	67,5	64,5	60,0	53,0	12,0	14	15	14
5. Tag Mittags	63,5	60,0	56,0	51,5	11,5	13	14	13
Abends	62,0	58,0	55,0	50,0	11,5	13	13	13
6. Tag Mittags	58,0	53,0	47,0	44,0	11,5	12	13	12

Die Lufttemperatur betrug während der Dauer des Versuchs 8—10° C.

Aus vorstehenden Zahlen ergiebt sich mit voller Deutlichkeit, dass die bedeutende Erwärmung des Stalldüngers auf die in demselben vor sich gehenden Oxydationsprocesse zurückzuführen ist, denn dieselbe trat nur bei Luftzufuhr hervor. Bemerkens-

[1]) Nach neueren Untersuchungen von *R. Burri* und *A. Stutzer* (Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde. Zweite Abtheilung. Bd. I. 1895. Nr. 7/8, 9/10, 11 u. 12) sollen zwar die Nitrate unter Mithilfe gewisser niederer Organismen bei reichlichem Luftzutritt unter Entbindung von freiem Stickstoff zerstört werden können, doch wird hierfür, wie weiter unten bei Besprechung des Denitrificationsprocesses näher dargelegt werden wird, ein sicherer Beweis nicht geliefert.

[2]) Journal de l'agriculture. 1884. Nr. 781. p. 507. — Vergl. ferner *Th. Schloesing*. Comptes rendus. T. CVI. 1888. p. 1293.

werth ist auch die Thatsache, dass die Temperatur der Masse von aussen nach innen abnahm. Dies erklärt sich aus der im gleichen Sinne erfolgenden Verminderung des Luftzutrittes und der damit verknüpften Abnahme der Verbrennung. Für die allmähliche Abkühlung spricht der Umstand, dass das Versuchsmaterial gleichzeitig austrocknet und die Zersetzung in demselben Maasse abnimmt. Wird der Dünger wieder mit Feuchtigkeit versehen, so steigt die Temperatur von Neuem.

Die in Rede stehende Wärmeerzeugung ist im Uebrigen von der Menge und Verwesungsfähigkeit der organischen Substanz und von den äusseren, die Zersetzung beherrschenden Factoren abhängig. Je grösser die vorhandene Menge organischer Substanz und deren Verwesungsfähigkeit ist, und je günstiger die äusseren Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit und Luftzufuhr) für den Zersetzungsprocess sind, um so stärker ist nach den diesbezüglichen Untersuchungen *F. Wagner's*[1]) die Temperaturerhöhung in der Masse oder im Boden bei Zufuhr von Dungmaterialien organischen Ursprungs. Es bleibt hierbei wohl zu berücksichtigen, dass die angeführten Momente hinsichtlich der durch sie bedingten Erscheinungen in mancherlei Wechselbeziehungen zu einander stehen, welche für die jeweils vorliegenden Verhältnisse näher festzustellen sind.

Dass die in Rede stehende Wärmequelle unter Umständen sehr ergiebig sein kann, wissen wir von dem Verfahren der Gärtner und Pflanzenzüchter, welche durch Anhäufung grosser Düngermassen sehr beträchtliche Temperatursteigerungen zu erzielen im Stande sind. Auch die bei dem Fermentiren des Knochenmehls sich entwickelnde Wärmemenge ist darauf zurückzuführen, dass die organischen Bestandtheile desselben sich ungemein schnell zersetzen.

Hinsichtlich der Frage, ob die durch Düngungen bezeichneter Art hervorgerufenen Temperatursteigerungen für die Fruchtbarkeit des Ackerlandes eine Bedeutung in Anspruch zu nehmen haben, ergaben die Versuche von *F. Wagner*[2]), dass nur bei Anwendung grosser Mengen (ca. 50000 kg pro ha) leicht zersetzbarer Dungstoffe (Pferde-, Schafdünger, Leguminosenstroh) und unter günstigen Zersetzungsbedingungen (warme und feuchte Witterung) eine bemerkbare Erhöhung der Bodenwärme beobachtet wurde. Dieselbe war jedoch nicht sehr bedeutend und betrug im Mittel nur ungefähr 0,1 — 0,4° C. Sowohl in Ansehung dieser Daten, als auch in dem Betracht, dass bei den in der Praxis gewöhnlich angewendeten Düngermengen, sowie bei Benutzung schwerer und langsamer sich zersetzender Materialien (Rindviehdünger, Grünfutterpflanzen) die Temperaturerhöhung nur eine minimale ist, wird gefolgert werden dürfen, dass im Allgemeinen die bei der Zersetzung organischer Substanzen im Boden frei werdende Wärme nicht ausreichend ist, um auf das Wachsthum der Kulturpflanzen einen bemerkenswerthen Einfluss ausüben zu können, und dies um so weniger, als die betreffende Wirkung nur eine vorübergehende (allmählich abnehmende) ist und während der kälteren Jahreszeit, wo sie belangreich sein könnte, überhaupt ausbleibt. Bei dem Gartenbau und einigen im Grossen angebauten Gewächsen kommen allerdings unter Umständen Düngerquantitäten zur Verwendung, welche eine weit ergiebigere und länger andauernde Erhöhung der Bodenwärme herbeiführen und dadurch einen fördernden Einfluss auf das Pflanzenwachsthum auszuüben vermögen.

---

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Herausgegeben von *E. Wollny*. Bd. V. 1882. S. 373—382.

[2]) a. a. O. S. 383—405.

2. Fäulniss (Putrefactio).

Bei Verminderung des Luft- resp. Sauerstoffzutrittes über eine gewisse Grenze hinaus oder bei vollständigem Luftabschluss sind die in den organischen Substanzen vor sich gehenden Zersetzungsprocesse ganz anderer Art als die bisher betrachteten. Während bei ausreichendem Zutritt des Sauerstoffs die Substanz sich grösstentheils verflüchtigt und als Endproducte des Zerfalls: Kohlensäure, Wasser, Ammoniak resp. Salpetersäure und die Mineralstoffe in meist assimilirbarer Form auftreten, entsteht bei ungenügender Zufuhr oder bei Abschluss des Sauerstoffes eine ungleich geringere Menge gasförmiger Producte, welche vornehmlich je nach äusseren Verhältnissen durch Kohlensäure, Sumpfgas (Menthan), Wasserstoff (Schwefel- und Phosphorwasserstoff), Stickoxydul, freien Stickstoff, repräsentirt sind, während die organische Substanz eine mehr oder weniger dunkel gefärbte, der Zersetzung weiterhin im hohen Grade widerstehende Masse bildet, welche neben eigenthümlichen stickstofffreien verschiedene stickstoffhaltige Verbindungen (Leucin, Tyrosin, Indol, Skatol, primäre Amine, Amidosäuren u. s. w.), sowie Ammoniak, unter Umständen Nitrite, ferner flüchtige Fettsäuren (Ameisensäure, Buttersäure, Essigsäure, Propionsäure, Valeriansäure) enthält und die Mineralstoffe zum grössten Theil in nicht aufnehmbarer Form einschliesst. In der Regel ist die Ammoniakentwickelung eine beschränkte und schreitet der Zerfall der Eiweissstoffe nur bis zur Bildung hoch zusammengesetzter organischer Verbindungen vor.

Die chemischen Vorgänge bei der Fäulniss organischer Stoffe sind im Allgemeinen noch wenig studirt worden. Nichtsdestoweniger sind die bisher ermittelten Thatsachen derart, dass dieselben wenigstens ein ungefähres Bild von den obwaltenden Vorgängen liefern, wie im Folgenden näher dargelegt werden soll.

Die Bildung der Kohlensäure, welche ausnahmslos unter den Producten der Fäulniss auftritt, geht bei diesem Zersetzungsvorgange, im Vergleich zu dem unter dem ungehinderten Zutritt des Sauerstoffes stattfindenden, nur äusserst langsam von Statten wegen Mangels ausreichender Mengen von Sauerstoff. Es ergiebt sich dies deutlich aus der beträchtlichen Verminderung der Kohlensäureentwickelung des Bodens, sobald derselbe vollständig mit Wasser erfüllt und in Folge dessen dem Zutritt der Luft unzugänglich ist. Der bei der Fäulniss zur Oxydation des Kohlenstoffs erforderliche Sauerstoff stammt einerseits von der organischen Substanz selbst, andererseits aber besonders von den vorhandenen reducirbaren Bestandtheilen, hauptsächlich von den Nitraten, Nitriten, dem Stickoxydul, sowie von den im Material vorkommenden höheren Oxydationsstufen des Eisens und Mangans her. Allen diesen Verbindungen entziehen die organischen Substanzen bei der Fäulniss energisch Sauerstoff, unter Umständen die Gesammtmenge, welche sie enthalten. Dadurch ist der in Rede stehende Process, im Gegensatz zur Verwesung, welche einen Oxydationsvorgang darstellt, als ein Reductionsvorgang charakterisirt. Aus dem Vorhandensein der geschilderten weitgehenden Desoxydationsprocesse wird geschlossen werden dürfen, dass die Menge der reducirbaren Stoffe für die Kohlensäurebildung von maassgebendem Einfluss sein werde. In der That ist dies der Fall, wie die Ergebnisse folgenden Versuchs des Verfassers wenigstens für die Eisen- und Manganoxydsalze nachweisen.

Es wurden 400 gr Quarzsand mit 2 gr Pferdedüngerpulver innig gemischt und mit 50 gr Wasser oder mit der gleichen Menge einer halbprocentigen Lösung von schwefelsaurem Eisen- und Manganoxyd befeuchtet. Statt der Luft wurde Wasserstoffgas durch das Gemenge geleitet. Die Kohlensäuremenge pro 1000 Vol. des Gases (bei 0° und 760 mm Druck) betrug im Mittel von je acht Einzelbeobachtungen:

Wasser	schwefels. Manganoxyd	schwefels. Eisenoxyd
4,376	5,252	5,698.

Hiernach hatten das schwefelsaure Mangan- und Eisenoxyd die Oxydation des Kohlenstoffs der organischen Substanz gefördert, und zwar jedenfalls dadurch, dass sie eine Reduction erlitten. Letztere kann nach den Untersuchungen von *M. Märcker*[1]), z. B. in Torfböden, so weit gehen, dass sich Schwefeleisen (FeS_2) bildet.

In Folge des äusserst langsamen Verlaufs der Oxydationsvorgänge ist die Wärmeentwickelung bei der Fäulniss der organischen Stoffe eine minimale und unter natürlichen Verhältnissen durch die gewöhnlichen Messinstrumente nicht nachweisbar.

Ein Theil des in den organischen Substanzen enthaltenen Kohlenstoffs wird bei der Umbildung während der Fäulniss in Sumpfga (CH_4) verwandelt, wobei die Masse alkalisch bleibt, in Folge eines gewissen Gehaltes an Ammoniakcarbonat. Nach *F. Hoppe-Seyler*[2]) zerfällt Cellulose, mit einem im Schlamm der Gewässer weit ververbreiteten Spaltpilz in Berührung, ohne Abscheidung nachweisbarer Zwischenproducte und unter Wasseraufnahme in Kohlensäure und Sumpfgas, wie folgende Gleichung zeigt:

$$\underset{\text{Cellulose}}{C_6H_{10}O_5} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Kohlensäure}}{3\,CO_2} + \underset{\text{Sumpfgas.}}{3\,CH_4}$$

Der betreffende Process scheint nach den Untersuchungen von *P. P. Dehérain*[3]) nur dann vor sich zu gehen, wenn hin und wieder der faulenden Masse Sauerstoff zugeführt wird. Bei länger andauernder Abwesenheit dieses Gases hört die Sumpfgasgährrng auf und sie beginnt erst bei Zufuhr gewisser Mengen von Sauerstoff von Neuem[4]).

Ausser der vorstehend beschriebenen tritt bei der Fäulniss unter Umständen noch eine Gährung auf, bei welcher statt Sumpfgas Wasserstoff entwickelt wird. Ein solcher Vorgang wurde von *F. Hoppe-Seyler*[5]) bei der Zersetzung des ameisensauren Kalkes nachgewiesen. Bringt man diesen unter Wasser mit etwas Cloakenschlamm in Berührung, so wird derselbe völlig zerlegt, indem sich Kohlensäure und Wasserstoff unter Zurücklassung von kohlensaurem Kalk bilden. Die Zersetzung lässt sich durch folgende Gleichung darstellen:

$$\underset{\substack{\text{Ameisensaurer}\\\text{Kalk}}}{CaC_2H_2O_4} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\substack{\text{Kohlensaurer}\\\text{Kalk}}}{Ca\,CO_3} + \underset{\substack{\text{Kohlen-}\\\text{säure}}}{CO_2} + \underset{\substack{\text{Wasser}\\\text{stoff.}}}{4\,H}$$

Charakteristisch für diesen Vorgang ist die saure Reaction der Substanz, welche durch das gleichzeitige Auftreten flüchtiger Fettsäuren, besonders von Buttersäure

---

[1]) Zeitschrift des landw. Vereins für die Provinz Sachsen. 1874. Nr. 2 u. 3. S. 70.

[2]) Archiv der gesammten Physiologie. Bd. XII. S. 1. — Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. X. S. 422.

[3]) Comptes rendus. T. XCVIII. 1884. Nr. 6. — T. XCIX. Nr. 1. — Journal de l'agriculture. 1884. Nr. 781. — Annales agronomiques. T. X. Nr. 9.

[4]) Vergl. *F. Hoppe-Seyler*. Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. VIII. S. 214.

[5]) Ebenda. Bd. X. S. 422.

(Dehérain)[1]) hervorgerufen wird. Die Gegenwart derselben lässt sich leicht durch Bildung von Buttersäureäther, sowie durch ihren eigenthümlichen Geruch erkennen. Ob bei der Wasserstoffgährung in gleicher Weise wie bei der Entwickelung von Sumpfgas der zeitweise Zutritt von Sauerstoff erforderlich ist oder ob dieser Vorgang jene Form der Zersetzung darstellt, welcher bei vollständiger Abwesenheit des Sauerstoffes vor sich geht, lässt sich zur Zeit nicht ermessen.

Die Fäulniss der Eiweissstoffe[2]) vollzieht sich wahrscheinlich in der Weise, dass das Eiweissmolecül eine Spaltung erleidet, wobei Amidoderivate der Fettreihe (Amidosäuren), stickstoffhaltige Körper aus der aromatischen Reihe und Reste von peptonartigen und verschiedenen noch unbekannten Stoffen entstehen. Die erstgebildeten Zerfallsproducte, ebenso die gleichen, in den unzersetzten organischen Substanzen ursprünglich enthaltenen Verbindungen (Amidoverbindungen) werden zum Theil weiter zerlegt, z. B. die Amidosäuren in Ammoniak und Fettsäuren, von denen die letzteren noch weiter unter Freiwerden von Kohlensäure, Wasserstoff und Sumpfgas gespalten werden. So hat man speciell für das Leucin eine Vergährung festgestellt, bei welcher Valeriansäure, Ammoniak, Kohlensäure und Wasserstoff entstehen. Eine ähnliche Zerlegung erleidet vielleicht das Glycocoll und andere Amidosäuren. Bei der Vergährung des Tyrosins wird nach *Nencki* Indol, Kohlensäure, Wasser und Wasserstoff gebildet.

Der Zerfall der stickstoffhaltigen organischen Stoffe schreitet mehr oder weniger weit vor, je nach äusseren Umständen; ein grösserer Theil wird sicherlich nur bis zu einem gewissen Grade verändert, wie aus dem Umstand geschlossen werden muss, dass die der Fäulniss unterliegenden Stoffe an ihrem Entstehungsort sich anhäufen und grosse Mengen von Stickstoff in organischer Form enthalten. Das gebildete Ammoniak pflegt nur in minimalen Quantitäten aufzutreten und scheint daher noch weiteren Veränderungen zu unterliegen. Besonders wichtig für die Bodencultur ist schliesslich der Umstand, dass unter den Producten der Fäulniss die niederen Oxydationsstufen des Stickstoffs (Nitrite, Stickoxydul) und freier Stickstoff angetroffen worden.

Von den betreffenden Umbildungen ist die Reduction der Nitrate resp. der Nitrite, **Denitrification** genannt, eingehender studirt worden. *Th. Schloesing* hatte bereits in seinen älteren Versuchen gefunden, dass die Salpetersäure aus dem Boden verschwand, sobald die Luft in demselben durch Stickstoff ersetzt wurde. Später haben sich besonders *U. Gayon* und *G. Dupetit*[3]), sowie *P. P. Dehérain* und *L. Maquenne*[4]) experimentell mit diesen Processen beschäftigt. In den Versuchen erstgenannter Forscher wurde Canalwasser, dem pro Liter 0,020 gr Kaliumnitrat zugesetzt worden war, mit zersetztem Urin gemischt; das Nitrat verschwand hierauf nach und nach. Eine ganze Reihe von Versuchen ermöglichte die Reduction von 0,1 und selbst 0,2 gr Nitrat im Liter. Ueber diese Grenze hinaus war das Canalwasser unzureichend; wenn man aber dasselbe durch mit Kalilösung neutralisirte Hühnerbrühe ersetzte, konnte man bis zu 5% gänzlich zersetzen. Dabei entwickelte sich reiner Stickstoff, der einen grossen Teil des Stickstoffs der Nitrate ausmachte; der Rest bildete Ammoniak und vielleicht Amidoderivate der benutzten organischen Substanz. Der Sauerstoff des Nitrates bildete Kohlensäure, welche als Carbonat oder Bicarbonat

---

[1]) Annales agronomiques. T. X. Nr. 1. p. 1.

[2]) *C. Flügge.* Die Mikroorganismen. Leipzig 1886. S. 493.

[3]) Comptes rendus. T. XCV. p. 644 und p. 1365.

[4]) Comptes rendus. T. XCV. p. 691.

in der Flüssigkeit blieb. Natrium-, Ammonium- und Calciumnitrate boten dieselben Erscheinungen wie Kaliumnitrat. Weitere Untersuchungen derselben Forscher führten zu dem Resultat, dass die Reduction der Nitrate unter gewissen Umständen nur bis zur Bildung von Nitriten erfolgt.

Die Versuche von *Dehérain* und *Maquenne* bilden gewissermassen eine Ergänzung der vorstehenden Beobachtungen. Es wurden zwei Bodenarten genommen, die eine reich an organischen Substanzen und natürlich nitrirt, die andere arm an diesen Bestandtheilen und ohne Nitrate; 300 gr dieser Bodenarten wurden mit wechselnden Mengen von Nitraten in Flaschen von 250 ccm Inhalt gebracht, hermetisch verschlossen und mit abführenden, unter Quecksilber mündenden Röhren versehen. Die an organischen Stoffen reiche Erde zeigte eine Abnahme des inneren Druckes, die von einer Entwickelung von Gasen gefolgt war, welche aus Kohlensäure und Stickstoff betsanden. Bei der armen Erde blieb die Abnahme des inneren Druckes bestehen, sie war von keiner Gasentwickelung gefolgt. Somit können Nitrate in der gewöhnlichen Ackererde unter Abschluss der Luft existiren, ohne Stickstoff zu entwickeln. Dieser erscheint nur insoweit, als man die Menge der organischen Substanzen vermehrt, und unter diesen letzteren Bedingungen erhält man bald gasförmigen Stickstoff.

Nachdem durch diese Beobachtung die Erscheinung qualitativ aufgeklärt war, wurden in einer zweiten Versuchsreihe die während der Reduction der Nitrate entwickelten Gase gemessen und näher studirt. In mit luftdichten Glashähnen versehenen Röhren brachte man 30 gr Erde, der man Nitrate und organische Substanz zugesetzt und die man nicht gemischt hatte. Bei Beginn des Versuchs maass man die Gase zu zwei verschiedenen Malen, indem man jedesmal mit der Pumpe evacuirte. Nach 35 Tagen wurden die Gase gesammelt. Statt des Sauerstoffes und des Stickstoffes, den die Röhren anfangs enthalten hatten, fand man am Ende des Versuches in drei verschieden beschickten Röhren keinen Sauerstoff, verschiedene Mengen von Kohlensäure und Residualgase, welche eine Gasentwickelung anzeigten. Diese war mehr bedingt durch den Reichthum an organischer Substanz wie durch den an Salpeter, aber selbst wenn die organische Substanz sehr reichlich war, wurde niemals eine Gasmenge erzielt, welche der im Nitrat enthaltenen entsprach.

Es wurde weiter mittelst der eudiometrischen Methode untersucht, ob das nach Absorption der Kohlensäure restirende Gas kein brennbares Gas enthalte, und es zeigten in allen drei Versuchsröhren die Gase, welche aus der Reduction von Nitraten aus der Ackererde stammten, einen merklichen Gehalt an Stickoxydul. Genauere maassanalytische Bestimmungen ergaben in den Gasen von Flaschen, welche 300 gr Gartenerde und 20 gr Salpeter enthalten hatten, 11,75% Stickoxydul und in den Gasen aus einer Flasche mit 300 gr Erde und 10 gr Salpeter 9,35% Stickoxydul.

Wenn die Mengen von Salpeter und organischer Substanz entsprechend sind, erfolgt also die Reduction der Nitrate unter Entbindung von Stickoxydul und freiem Stickstoff. Die Bedingungen, unter denen das Lachgas entsteht, sind ganz besondere, denn es kam nicht nur ziemlich oft vor, dass es in diesen Versuchen in dem aus der Reduction der Nitrate stammenden Gasen nicht gefunden wurde, auch *Schloesing*, der die Möglichkeit der Entwickelung der niederen Stickstoffoxyde während der Reduction der Nitrate in der Ackererde vorausgesehen hatte, konnte bei seinen Untersuchungen von 1873 ihre Gegenwart nicht entdecken.

Die **Entwickelung von freiem Stickstoff** bei der Fäulniss wurde nicht allein in den vorstehend mitgetheilten, bei vollständigem Luftabschluss angestellten Versuchen, sondern bereits früher durch Untersuchungen ermittelt, in welchen der Luft innerhalb gewisser Grenzen Zutritt zu der sich zersetzenden Substanz gestattet war. So fanden z. B. *J. König* und *J. Kiesow*[1]) bei der Fäulniss von Knochenmehl, Fleisch und Kuhkoth, *B. E. Dietzell*[2]) bei derjenigen von getrocknetem Blut, und neuerdings *A. Morgen* und *J. König*[3]) bei faulendem Blut, Knochen-, Leder- und Hornmehl, dass ein grösserer oder geringerer Theil des Stickstoffs sich im freien Zustande entbindet oder doch in einer Form fortgeht, in welcher er für den landwirthschaftlichen Betrieb einstweilen als verloren angesehen werden muss.

Ueber die Ursachen des bezeichneten Stickstoffverlustes gehen die Ansichten zum Theil auseinander. Es handelt sich hierbei vor Allem um die Entscheidung der Frage, ob der freie Stickstoff direct aus der organischen Substanz oder dem Ammoniak, welches sich in geringen Mengen abspaltet, entbunden werde, oder ob das Gas ein Product des Denitrificationsprocesses sei.

Morgen und *König* nehmen an, dass der Stickstoffverlust durch Oxydationsprocesse in erster Linie veranlasst sei, und zwar in der Weise, dass das bei der Fäulniss entstehende Ammoniak durch den Sauerstoff verbrannt und aus demselben Wasser und Stickstoffgas gebildet werde, etwa in folgender Weise:

$$\underset{\text{Ammoniak}}{2\,NH_3} + \underset{\text{Sauerstoff}}{O_3} = \underset{\text{Wasser}}{3\,H_2O} + \underset{\text{Stickstoff}}{N_2}.$$

Diese Anschauung scheint indessen insofern nicht zutreffend zu sein, als die Menge des disponiblen Sauerstoffs in einer von der Luft abgeschlossenen Masse zu der Oxydation des Ammoniaks vollständig unzureichend wäre, ganz abgesehen davon, dass der Sauerstoff, wie oben gezeigt, von dem Kohlenstoff der organischen Substanzen in Anspruch genommen wird.

Ob der freie Stickstoff sich direct aus den stickstoffhaltigen Bestandteilen abscheide, ist eine Frage, die nach verschiedenen diesbezüglichen Versuchen wohl verneint werden muss. So fand *B. Tacke*[4]), dass bei der Fäulniss stickstoffhaltiger organischer, jedoch nitratfreier Substanzen, bei Abwesenheit von Sauerstoff, Stickstoff nicht oder doch nicht in nennenswerther Weise entwickelt wurde. Zu demselben Ergebniss gelangte *Th. Schloesing*[5]), welcher zu seinen Versuchen mageres Ochsenfleisch, trockene zerriebene Bohnen, Roquefort-Käse, Lendenstück der Seezunge, Pferdemist mit Harn und eine Cultur von Aspergillus niger in einer Nährlösung verwendete. Die Verluste an gasförmigem Stickstoff waren in allen Fällen so gering, dass sie als vollständig bedeutungslos angesehen werden müssen. *A. Ehrenberg*[6]) überliess stickstoffhaltige organische Substanzen (Pferdedünger) bei Abwesenheit von Sauerstoff in wenig feuchtem Zustande der Fäulniss und konnte in dem auftretenden Gasgemenge nur Kohlensäure und Sumpfgas nachweisen. Mit vorwürfiger Frage

---

1) Landw. Jahrbücher. Bd. II. 1873. S. 107.
2) Zeitschrift des landw. Vereins in Bayern. 1882. Märzheft.
3) Landw. Versuchsstationen. Bd. XXX. 1884. S. 199—216.
4) Landw. Jahrbücher. Bd. XVI. S. 917—937.
5) Comptes rendus. T. CVIII. p. 205 u. 261.
6) Zeitschrift f. physiologische Chemie. Bd. XI. 1887. S. 438—471.

haben sich auch *O. Kellner* und *T. Yoshii*[1]) beschäftigt. Dieselben versetzten verschiedene organische Stoffe, feingemahlene Sojabohnen, Fischmehl und Milch mit gefaultem Harn, erstere beide Materialien noch mit Wasser und brachten diese hierauf in verschlossene Flaschen. In einigen dieser Versuche war Gips als ammoniakbindendes Mittel in geringen Mengen zugesetzt worden. In keinem von acht Fällen war ein irgendwie in Betracht kommender Stickstoffverlust bemerkt worden, obwohl die Fäulniss überall sehr weit vorgeschritten war. Nitrification war in keinem Falle beobachtet worden.

Angesichts dieser übereinstimmenden Versuchsergebnisse erscheint der Schluss berechtigt, dass bei der Fäulniss der organischen Stoffe eine **directe** Abspaltung freien Stickstoffs nicht stattfindet.

Ein solcher Vorgang tritt nur bei der Desoxydation der Nitrate und Nitrite auf. Dies wird nicht allein durch die bereits oben mitgetheilten, sondern auch durch die Versuche von *A. Ehrenberg*, *O. Kellner* und *T. Yoshii* (a. a. O.) nachgewiesen. Ersterer fand, dass in faulenden organischen Gemischen bei Sauerstoffmangel eine Zersetzung der vorhandenen Nitrate vor sich geht, wobei der Stickstoff dieser letzteren zum Theil in gasförmiger Gestalt in Freiheit gesetzt wird, sowie, dass eine Entwickelung von Sumpfgas erst nach erfolgter Zersetzung derselben eintritt. Die betreffenden Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass 300 gr Pferdedünger und 500 gr Kuhdünger, mit einer Lösung von 5 gr Salpeter in 100 ccm Harn befeuchtet, in einen Kolben verbracht wurden, in welchem man die Luft durch Kohlensäure ersetzte. Die Analyse der Luft, welche von Zeit zu Zeit vorgenommen wurde, lieferte folgendes Ergebniss:

Gas aufgefangen nach	Pferdedünger			Kuhdünger		
	Kohlensäure %	Stickstoff %	Sumpfgas %	Kohlensäure %	Stickstoff %	Sumpfgas %
10 Tagen	46,21	53,79	—	74,94	25,06	—
20 „	69,53	30,47	—	53,18	46,82	—
30 „	73,43	23,72	2,85	47,64	49,01	3,34
60 „	44,09	—	55,91	45,81	—	54,19

Kellner und *Yoshii* fügten zu verdünntem faulenden Menschenharn Ackererde aus der obersten Bodenschicht zu, um das nitrificirende Ferment einzuführen. In dieser Mischung, in welcher die Nitrification mit grosser Intensität von Statten ging, trat weiterhin ein erheblicher Stickstoffverlust ein, welcher nach sechsmonatlicher Versuchsdauer 9,6 %, nach acht Monaten 10,1 % betrug.

Die angeführten Versuche vermitteln sonach die Thatsache, dass nur bei Gegenwart von Nitraten in Fäulnissgemischen Stickstoff im elementaren Zustande abgeschieden wird.

Die chemischen Vorgänge bei dem Freiwerden des Stickstoffs sind verschiedener Art und wahrscheinlich davon abhängig, ob gegebenen Falls die Bedingungen zu einer Sumpfgas- oder zu einer Wasserstoffgährung vorliegen (S. 9). Im ersteren Fall wird vermuthlich durch Einwirkung der in dem Fäulnissgemisch auftretenden

[1]) Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. XII. S. 95.

freien salpetrigen Säure[1]) auf die gleichergestalt vorhandenen Amidverbindungen Veranlassung zur Bildung von freiem Stickstoff gegeben sein *(Dietzell)*. So geht das Leucin mit salpetriger Säure unter Wasserabspaltung in Leucinsäure über, während der Stickstoff sich paarweise aneinanderlagert und als Molecül ausfällt, eine Zersetzung, die so glatt verläuft, dass dieselbe zur Bestimmung des Leucin-Stickstoffs benutzt wird[2]). Bei der Einwirkung salpetriger Säure auf primäre Amine wird Stickstoff frei[3]) und nach *E. Kern*[4]) und *E. Schulze*[5]) werden Ammoniaksalze schon in der Kälte durch salpetrige Säure unter Austritt des Stickstoffs zum Theil zersetzt. Auch werden die primären Amine noch dadurch eine Stickstoffelimination veranlassen, dass sie aus Ammoniumnitrit das Ammoniak austreiben und mit der salpetrigen Säure zerfallen. In dem zweiten oben angeführten Fall wird die Bildung von elementarem Stickstoff leicht verständlich, wenn man berücksichtigt, dass der Wasserstoff in statu nascendi im hohen Grade reducirend wirkt und daher den Sauerstoff den vorhandenen Nitraten und Nitriten entzieht, unter Bildung von Wasser und niederen Oxydationsstufen, sowie von ungebundenem Stickstoff. Ist alle freie Salpetersäure verschwunden, so tritt Wasserstoff auf.

Die Veränderungen, welche die organischen Substanzen in ihrer elementaren Zusammensetzung und in ihrem Gehalt an Mineralstoffen unter dem Einfluss des Luftabschlusses erleiden, sind noch wenig studirt worden, doch lässt sich aus einigen Elementaranalysen, besonders aus den von *W. Detmer*[6]) mit verschieden altem Torf ausgeführten, ein ungefähres Urtheil über dieselben gewinnen. Um zu sehen, welchen Einfluss die fortschreitende Zersetzung auf die Zusammensetzung des Humus hat, führte genannter Forscher drei Analysen mit Jessbecker Torf aus und zwar mit braunem Torf (I) von der Oberfläche, mit schwarzem Torf, aus einer Tiefe von 2,2 m (II) und von 4,4 m (III) entnommen. Bei I waren die Pflanzenreste noch deutlich zu erkennen, Nr. II und III repräsentirten eine mehr homogene Masse. Die bei 120 ° C. getrockneten Proben enthielten (aschefrei):

	I	II	III
	%	%	%
Kohlenstoff	57,75	62,02	64,07
Wasserstoff	5,43	5,21	5,01
Sauerstoff	36,02	30,67	26,87
Stickstoff	0,80	2,10	4,05
Asche	2,72	7,42	9,16.

Die organischen Substanzen werden hiernach mit fortschreitender Zersetzung stickstoff- und kohlenstoffreicher, weil die stickstoffhaltigen Bestandtheile sich langsamer zersetzen als die stickstofffreien, resp. Wasserstoff und Sauerstoff sich reich-

[1]) Nach den Untersuchungen von *A. Müntz* (Comptes rendus. T. CXII. p. 1142—1146) ist die Kohlensäure im Stande, unter Bildung eines Carbonates die salpetrige Säure frei zu machen.

[2]) *R. Sachsse.* Landw. Versuchsstationen. Bd. XVII. S. 327.

[3]) *A. W. Hofmann.* Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXV. S. 363. — *V. Meyer* und *F. Forster.* Ber. d. deutschen chem. Ges. Bd. IX. S. 536. — *V. Meyer*, *J. Barbieri* und *F. Forster.* Ebenda. Bd. X. S. 130.

[4]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XXIV. S. 368.

[5]) Ebenda. Bd. XXV. S. 173 u. Bd. XXVI. S. 260.

[6]) Ebenda. Bd. XIV. S. 248 u. ff.

licher abtrennen als der Kohlenstoff. Indem bei dem Zerfall die ganze Masse an Gewicht abnimmt, die Mineralstoffe aber, wenn sie nicht ausgewaschen, in ihrer Menge nicht geändert werden, so muss der relative Gehalt an letzteren naturgemäss in der ganzen Masse zunehmen.

Aus den bisherigen Betrachtungen ergiebt sich ohne Weiteres, dass die Verwesung und die Fäulniss zwei wesentlich von einander verschiedene Processe sind und desshalb nicht, wie dies noch vielfach geschieht, zusammengeworfen werden dürfen. Wie gezeigt, sind die betreffenden Vorgänge dadurch charakterisirt, dass die organische Substanz bei ersterem fast vollständig verflüchtigt wird, während bei dem anderen die Bildung gasförmiger Producte eine beschränkte ist und eine Anhäufung organischer Stoffe stattfindet. **Die Verwesung stellt demgemäss einen Process des Vergehens, die Fäulniss im Wesentlichen einen solchen der Ansammlung dar.**

3. Anderweitige Zersetzungserscheinungen.

Verschiedene von den bisher betrachteten scheinbar abweichende Zersetzungserscheinungen gehören bei näherem Einblick entweder in die eine oder in die andere Kategorie oder nehmen je nach äusseren Einwirkungen u. s. w. eine Zwischenstellung ein, wie dies z. B. bei der Vermoderung der Fall ist, welche bei stickstoffarmen Substanzen bei mässigem Wassergehalt derselben unter Luftzutritt vor sich geht. Unter gewissen Umständen können in einer und derselben Masse Verwesung und Fäulniss gleichzeitig stattfinden, je nachdem den einzelnen Schichten grössere oder geringere Luftmengen zur Verfügung stehen (Stalldünger).

Von sonstigen Gährungsprocessen würde hier zunächst die Alkoholgährung bei dem Zerfall der organischen Stoffe in Betracht zu ziehen sein, nachdem die Untersuchungen von *A. Müntz*[1]) ergeben haben, dass Alkohol in Gartenböden und in Böden, welche reich an organischen Stoffen sind, in solchen Mengen vorkommt, dass man denselben extrahiren und seine wesentlichen Eigenschaften nachweisen kann. Ob dieser Vorgang eine allgemeine Verbreitung in der Natur hat, wurde bisher nicht festgestellt.

Der Alkohol (Aethylalkohol) entsteht neben Kohlensäure und einigen anderen in geringen Mengen auftretenden Producten (Fuselöl, Buttersäure, Bernsteinsäure, Glycerin u. s. w.) aus verschiedenen Zuckerarten (Dextrose, Lävulose und Maltose) direct oder nach vorhergehender Invertirung (Rohrzucker, Milchzucker) nach den Gleichungen:

$$\underset{\text{Traubenzucker}}{C_6H_{12}O_6} = \underset{\text{Alkohol}}{2\,C_2H_6O} + \underset{\text{Kohlensäure}}{2\,CO_2}$$

$$\underset{\text{Rohrzucker}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Alkohol}}{4\,C_2H_6O} + \underset{\text{Kohlensäure.}}{4\,CO_2}$$

Wichtiger für die Bodencultur ist die Ammoniakgährung des Harnstoffs. Normaler Harn des Menschen und der Haussäugethiere nimmt bekanntlich bei dem Stehen an der Luft einen ammoniakalischen Geruch an. Dieser rührt davon her, dass der Harnstoff unter Aufnahme von Wasser in kohlensaures Ammoniak umgesetzt wird. Diese Reaction verläuft in folgender Weise:

[1]) Comptes rendus. T. XCII. p. 499.

$$CH_4N_2O + 2\,H_2O = 2\,(NH_3)CO_3$$

Harnstoff	Wasser	Kohlensaures Ammoniak.

Die neben dem Harnstoff im Harn der Pflanzenfresser in grossen Mengen auftretende Hippursäure spaltet sich, gleichfalls unter Wasseraufnahme, vorerst in Benzoësäure und Glycocoll. Folgende chemische Gleichung bringt diesen Vorgang zum Ausdruck:

$$C_9H_9NO_3 + H_2O = C_2H_5NO_2 + C_7H_6O_2$$

Hippursäure	Wasser	Glycocoll	Benzoësäure.

Das Glycocoll, das seiner Constitution nach als Amidoessigsäure betrachtet wird, erleidet ohne Zweifel weitere Veränderungen, bei denen schliesslich auch Ammoniaksalze resultiren.

Die Harnsäure, welche bekanntlich in grosser Menge in den Excrementen der Vögel vorkommt, liefert gleichergestalt wie die Hippursäure in Folge eines Gährungsprocesses schliesslich kohlensaures Ammoniak. Dieser Uebergang wird bei vollständiger Oxydation dadurch vermittelt, dass die Harnsäure in Kohlensäure und Harnstoff zerlegt wird.

Die Bildung von Ammoniak erfolgt am schnellsten bei dem Harnstoff, langsamer bei der Harnsäure und am widerstandsfähigsten erweist sich die Hippursäure.

Die Oxydation vieler stickstofffreier und sticktoffhaltiger organischer Stoffe hat die Bildung von flüchtigen Fettsäuren zur Folge.

Die Ameisensäure (CH_2O_2) tritt als Zersetzungs- und Oxydationsproduct sowohl der Eiweissstoffe als auch verschiedener Kohlehydrate im Pflanzen- wie im Thierreich auf und bildet sich gleichergestalt durch Oxydation des Methylalkohols ganz so wie Essigsäure aus Aethylalkohol.

Die Essigsäure ist ebenfalls unter den Zersetzungsproducten organischer Stoffe anzutreffen und demgemäss, wenn auch nur in geringen Mengen in Torf, Moorerde, Humus und anderen verwesenden Substanzen vorhanden. Am leichtesten bildet sich Essigsäure durch Oxydation des Alkohols, ein Process, der durch folgende Gleichung versinnlicht wird:

$$C_2H_6O + 2\,O = C_2H_4O_2 + H_2O$$

Alkohol	Sauerstoff	Essigsäure	Wasser.

Die Propionsäure ($C_3H_6O_2$) bildet sich im Gemenge mit anderen Fettsäuren bei der Entmischung vieler vegetabilischer Substanzen, besonders der eiweiss- und gerbstoffreichen.

Die Buttersäure scheint gleich den anderen flüchtigen Fettsäuren ein Zersetzungsproduct gewisser Pflanzenstoffe zu sein. Durch Gährung bildet sich diese Säure aus Zucker unter Entwickelung von Kohlensäure und Wasserstoff, nach der Gleichung:

$$C_6H_{12}O_6 = 2\,CO_2 + C_4H_8O_2 + 4\,H$$

Zucker	Kohlensäure	Buttersäure	Wasserstoff.

Andere Kohlehydrate, wie Stärke, Inulin, Dextrin, Dextrose u. s. w., gehen zuerst in Milchsäure über, die sich dann bei weiterem Fortschreiten der Gährung in Buttersäure, Kohlensäure und Wasserstoff spaltet nach der Gleichung:

$$2\,C_3H_6O_3 = 2\,CO_2 + C_4H_8O_2 + 4\,H$$

Milchsäure — Kohlensäure — Buttersäure — Wasserstoff.

Die **Valeriansäure** ($C_5H_{10}O_2$) ist ein Product des Zerfalls der Eiweisskörper und Albuminate. Dasselbe gilt von der Capronsäure ($C_6H_{12}O_2$).

Unter den mehrwerthigen organischen Säuren sind besonders die **Milch-** und **Bernsteinsäure** hervorzuheben. Zur Bildung ersterer liefern vornehmlich Rohrzucker, Traubenzucker, Milchzucker, Mannit, Sorbit, Inosit u. s. w. das Material. Die chemische Umsetzung wird gewöhnlich durch die Gleichung

$$C_6H_{12}O_6 = 2\,C_3H_6O_3$$

Zucker — Milchsäure

erläutert, doch scheint dieselbe nicht richtig, weil in derselben der stets gleichzeitig auftretenden Kohlensäure nicht Rechnung getragen ist.

Die Bernsteinsäure ($C_4H_6O_4$) entsteht bei der Zersetzung asparaginhaltiger Pflanzensäfte und in geringer Menge bei der Alkoholgährung.

Die **Fettsäuren** und die in den Pflanzen vorkommenden **organischen Säuren** unterliegen verschiedenen Gährungen, die am besten stattfinden, wenn die betreffenden Säuren in Form von neutralen Salzen, besonders als Kalksalze in dem Substrat enthalten sind[1]).

Ameisensaurer Kalk liefert kohlensauren Kalk, Kohlensäure und Wasserstoff; **essigsaurer Kalk** zerfällt in kohlensauren Kalk, Kohlensäure und Sumpfgas.

Milchsaurer Kalk zeigt nach *Fitz* vier verschiedene Gährungen: 1) die Propionsäuregährung, bei welcher als Nebenproducte Essigsäure, Bernsteinsäure und Alkohol auftreten, 2) eine Gährung, bei welcher neben Propionsäure grössere Mengen Valeriansäure gebildet werden, 3) die Buttersäuregährung, bei welcher neben buttersaurem und kohlensaurem Kalk als Nebenproducte Aethyl- und Butylalkohol entstehen, 4) eine Gährung, mit welcher die Bildung von Buttersäure und Propionsäure verknüpft ist.

Glycerinsaurer Kalk liefert in dem einen Fall essigsauren Kalk, neben geringen Mengen von Bernsteinsäure und Aethylalkohol, in einem anderen dagegen Ameisensäure und als Nebenproduct Methylalkohol und Essigsäure.

Aepfelsaurer Kalk giebt hauptsächlich Bernsteinsäure und etwas Essigsäure oder Propionsäure, neben Essigsäure. Er kann aber auch in Buttersäuregährung unter Wasserstoffentwickelung oder in Milchsäuregährung unter Abscheidung von Kohlensäure übergehen.

Weinsaurer Kalk bildet bei der Gährung Propionsäure oder Buttersäure, unter gewissen Umständen auch Essigsäure.

Citronensaurer Kalk liefert nach *Fitz* reichlich Essigsäure, daneben Aethylalkohol und Bernsteinsäure.

Oxalsaurer Kalk, in Gährung versetzt, geht in kohlensauren Kalk über.

Die übrigen Gährungen organischer Stoffe bieten für den vorliegenden Gegenstand kein besonderes Interesse und können füglich um so eher übergangen werden, als sie noch wenig untersucht worden sind. Dagegen sind in landwirthschaftlicher Beziehung noch zwei Zersetzungserscheinungen von Wichtigkeit, bei welchen anorganische Körper, nämlich Schwefel und Eisenoxyd zur Abscheidung gelangen.

---

[1]) *C. Flügge.* Die Mikroorganismen. Leipzig. 1886. S. 489.

Nach *S. Winogradsky*[1]) erfolgt die Abscheidung von Schwefel durch Oxydation von Schwefelwasserstoff, welcher sich bildet, wenn Kohlenwasserstoff, wie solcher sich bei der Fäulniss entwickelt, in statu nascendi Sulfate, besonders Natriumsulfate und Calciumsulfat (Gyps) reducirt, wobei sich folgender Process abspielt:

$$\underset{\text{Kohlenwasserstoff}}{CH_4} + \underset{\text{Calciumsulfat}}{CaSO_4} = \underset{\text{Calciumcarbonat}}{CaCO_3} + \underset{\text{Schwefelwasserstoff}}{H_2S} + \underset{\text{Wasser.}}{H_2O}$$

Die Entstehung von Eisenoxyd ist auf eine Oxydation von Eisenoxydulcarbonat zurückzuführen. Dieser Vorgang ist besonders die Ursache der Ablagerungen, welche unter dem Namen Sumpf-, See-, Wiesenerz, Raseneisenstein u. s. w. bekannt sind.

II. Die Betheiligung niederer Organismen an der Zersetzung der organischen Stoffe.

Während man bisher fast allgemein der Ansicht war, dass die bei der Zersetzung der organischen Substanzen auftretenden Erscheinungen auf rein chemische Processe zurückzuführen seien, ist man nach verschiedenen neueren Untersuchungen gezwungen, die betreffenden Vorgänge insofern als chemisch-physiologische aufzufassen, als dieselben nur mit Hilfe von Mikroorganismen stattfinden.

Der Nachweis hierfür kann in zweierlei Weise erbracht werden, nämlich dadurch, dass man die in Gährung begriffenen Substanzen erhitzt oder denselben geeignete antiseptisch wirkende Stoffe zufügt und zusieht, ob die Vorgänge bei der Zersetzung dadurch aufgehoben werden, oder dass man die verschiedenen Mikroorganismen, welche in den verwesenden und faulenden Materalien in grosser Menge aufzutreten pflegen, isolirt und die Processe studirt, welche sie etwa an den verschiedenen Bestandtheilen der Pflanzen- und Thierreste hervorzurufen vermögen. Auf beiden Wegen hat man versucht, sich einen näheren Einblick in die einschlägigen Erscheinungen zu verschaffen, und so mangelhaft auch die in dieser Richtung angestellten Untersuchungen zur Zeit noch sind, ist man doch bereits zu Resultaten gelangt, welche mancherlei Anhaltspunkte gewähren und eine praktische Nutzanwendung zulassen.

Nach der ersteren Methode wurde vom Verfasser eine Reihe von Untersuchungen[2]) ausgeführt, in welchen die der Verwesung ausgesetzten Materialien mit verschiedenen antizymotischen Substanzen behandelt oder einer höheren Temperatur ausgesetzt und die Kohlensäuremengen bestimmt wurden, die sich unter gleichen äusseren Umständen entwickelten. Unter derartigen Verhältnissen konnte die Menge der gebildeten Kohlensäure als Maassstab für die Intensität des Verwesungsprocesses dienen. Die Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt.

Die mit gleichen Flüssigkeitsmengen imprägnirten humusreichen Böden oder Bodengemische wurden in U-förmige Glasröhren von 3,5 Durchmesser und ca. 700 ccm Inhalt gefüllt, deren Enden durch einfach durchbohrte und mit knieförmig gebogenen Glasröhren versehene Kautschukpfropfen verschlossen waren. Die Röhren, in welchen sich der Versuchsboden befand, standen aufrecht nebeneinander in einem Zinkkasten, der bis zum Rande mit Wasser gefüllt war, dessen Temperatur mittelst eines *Soxhlet*-

---

[1]) Botanische Zeitung. 1887. Nr. 31—37.

[2]) *E. Wollny.* Untersuchungen über die Zersetzung der organischen Substanzen. Journal für Landwirthschaft. XXXIV. Jahrg. 1886. S. 222.

schen Thermostaten constant auf 30° C. erhalten wurde. Von den beiden aus jedem Bodengefäss ausmündenden, mit dem Innern communicirenden Glasröhren wurde die eine durch einen Gummischlauch mit einer nach Art der Spritzflaschen construirten und bis auf ein Viertel mit concentrirter Schwefelsäure gefüllten Flasche, die andere auf gleiche Weise mit mehreren mit Natronkalk gefüllten Röhren verbunden. Zwischen der mit Schwefelsäure gefüllten Flasche und dem zum Auspumpen der Luft bestimmten Aspirator wurde eine *Pettenhofer*'sche mit Barytlösung beschickte Absorptionsröhre eingeschaltet. Zwischen den einzelnen gewöhnlich in ganz gleichen Zeitintervallen (24 bis 48 Stunden) angestellten Versuchen verblieben die Bodengefässe in dem Zinkkasten Tag und Nacht bei gleicher Temperatur, und wurden, um das Austreten von Kohlensäure zu verhindern, dadurch hermetisch verschlossen, dass die an den beiden knieförmigen Ausmündungsröhren angebrachten Gummischläuche, nach der Entfernung der mit Natronkalk und Schwefelsäure versehenen Gefäse, durch Glasstäbchen verschlossen wurden.

Diese Versuchsanordnung bot den Vortheil, dass alle Factoren, welche auf die Zersetzung der organischen Substanzen von Einfluss sind, wie Temperatur, Wassergehalt, Bodenbeschaffenheit u. s. w., während der Versuchsdauer auf gleicher Höhe erhalten werden konnten.

Behufs Entfernung der Luft aus den Leitungen wurde zu Anfang eines jeden Versuchs $^1/_2$ Liter Luft ausgepumpt, hierauf die mit Barytlösung gefüllte Absorptionsröhre eingeschaltet und die Bodenluft in einer Menge von 2 Litern in linsengrossen Blasen während eines Zeitraumes von $1\,^1/_2$—2 Stunden durchgesaugt.

Nachdem die Luft in der angegebenen Menge die Barytlösung passirt hatte, wurde die Absorptionsröhre ausser Verbindung mit dem Aspirator und dem Schwefelsäuregefäss gebracht und die in ihr enthaltene Flüssigkeit in eine kleine Flasche von ca. 250 ccm geschüttet, welche, gut verschlossen, an einem ruhigen und kühlen Orte so lange aufbewahrt wurde, bis das Baryumcarbonat sich vollständig zu Boden gesetzt hatte. War dies geschehen, so wurden 30 ccm der klaren Flüssigkeit abgehoben und titrirt.

In den nach der Erhitzungsmethode ausgeführten Versuchen wurden von einer grösseren Quantität feinem Pferdedüngerpulver zwei Mittelproben à 16,3 gr gebildet, welche in einer Porzellanschale mit je 34,7 gr destillirtem Wasser gut durchfeuchtet wurden. Das eine Quantum wurde in eine U-förmige Glasröhre gebracht, das andere in ein ebenso gestaltetes eisernes Rohr, welches an den Enden mit zwei dicht aufgeschraubten Messinghähnen versehen war, gefüllt und durch Versenken des letzteren in ein Oelbad durch sechs Stunden einer Temperatur von 115° C. ausgesetzt. Beide Röhren wurden hierauf in das Wasserbad (30° C.) verbracht und im Uebrigen nach dem vorhin beschriebenen Verfahren behandet, mit dem Unterschiede, dass an der Eintrittsstelle der Aspirationsluft, zwischen der Natronkalk- und Bodenröhre eine 80 cm lange, zuvor ausgeglühte Glasröhre, welche mit durch Aether gereinigter Baumwolle erfüllt war, eingeschaltet wurde. Diese Vorrichtung bezweckte die Abhaltung der niederen Organismen aus der atmosphärischen Luft.

Zur Vergleichung der Wirkungen der hier angewendeten Mittel auf die Verwesung der organischen Stoffe sind in der folgenden Tabelle die unter dem Einfluss des reinen Wassers ermittelten Kohlensäuremengen gleich 100 gesetzt, und die übrigen Durchschnittswerthe (aus 6—9 Einzelversuchen) in absteigender Reihe auf-

geführt. Die gleichzeitig angegebenen Mengen der benutzten antiseptischen Substanzen beziehen sich auf 100 Theile des feuchten Versuchsmaterials.

Behandlung des Materials mit	Menge der Substanz in Proc. des Bodens.	Kohlensäureproduction.	Behandlung des Materials mit	Menge der Substanz in Proc. des Bodens.	Kohlensäureproduction.
Wasser	—	100,0	Carbolsäure	0,110	33,5
Salicylsäure	0,030	98,4	Jod	0,045	33,3
Schwefelsaurem Strychnin	0,210	92,5	Benzol	1,050	19,1
Brom	0,045	87,9	Salpetersaurem Silber .	0,045	12,1
Benzoësaurem Natron .	1,050	87,0	Blausäure	0,045	11,6
Chlor	0,045	85,0	Chromsäure	0,045	11,2
Salicylsaurem Natron .	1,050	80,5	Thymol	1,050	7,8
Valeriansaurem Zink .	0,045	77,3	Quecksilberchlorid . .	0,045	6,8
Jodoform	0,045	71,7	„	0,090	7,5
Borsäure	0,330	48,9	„	0,180	7,1
Schwefelsaurem Kupfer	0,045	47,1	„	0,360	6,9
Borsäure	0,670	44,9	„	0,720	6,8
Chloroform	—	44,3	Carbolsäure	1,110	5,7
Borsaurem Natron . .	1,050	35,6	Temperatur von 115° C.	—	2,3

Diese Zahlen[1]) lassen deutlich erkennen, dass die **Kohlensäureentwickelung fast vollständig aufgehoben wird, wenn die im Zerfall begriffenen organischen Substanzen mit Lösungen von Quecksilberchlorid, Thymol und Carbolsäure (letztere in höherer Concentration) behandelt oder einer Temperatur von 115° C. ausgesetzt werden.** Fragliche Wirkungen treten noch schärfer hervor, wenn nicht, wie geschehen, die Mittel der Versuche, sondern die Ergebnisse der Endversuche in den Reihen in Betracht gezogen werden. Die Materialien enthalten nämlich vielfach von den vor Zuführung der antiseptischen Substanzen oder vor der Erhitzung stattgefundenen Zersetzungsprocessen her Kohlensäure im absorbirten Zustande, welche dann bei dem Durchleiten der Luft zuerst in grösseren, dann in immer kleiner werdenden Mengen abgegeben wird, so dass die aus den Versuchsmaterialien entnommene Luft nicht nur die während der Untersuchung gebildete, sondern auch noch einen Theil der vorher entwickelten Kohlensäure enthält. Für den vorliegenden Zweck erscheint es daher räthlich, die Resultate der Endversuche, in welchen die Wirkungen der in Anwendung gebrachten Mittel aus vorstehenden Gründen mehr hervortreten, besonders zu berücksichtigen. Es stellt sich dann Folgendes heraus:

Kohlensäureproduction.

Ohne Erhitzen	100,0.	Ohne Quecksilberchlorid	100,0.
Mit „	1,2.	Mit „	4,5.

Hiernach wird die Oxydation des Kohlenstoffs der organischen Substanz durch die angewendeten Mittel, besonders im ersteren Fall, fast auf Null herabgedrückt.

[1]) Dieselben können natürlich, wie hier hervorgehoben sein mag, keinen allseitig zutreffenden Aufschluss über die specifischen Wirkungen der verschiedenen Antiseptica geben, weil diese, wie besonders die mit Carbolsäure und Borsäure angestellten Versuche zeigen, von der Concentration der Lösung wesentlich mit abhängig sind und nur bei wenigen Substanzen die gleichen Mengen angewendet wurden. In vorliegenden Versuchen handelte es sich lediglich darum, ein Mittel zur Tödtung der betreffenden Mikroorganismen ausfindig zu machen, und dieser Zweck dürfte vollständig erreicht worden sein.

Ob der Rest von Kohlensäure als Product eines nebenher gehenden schwachen chemischen Processes zu betrachten oder vielmehr durch langsame Abgabe der von der organischen Substanz vermöge ihres ausserordentlichen Adsorptionsvermögens[1]) festgehaltenen, aus früheren Zersetzungen stammenden Kohlensäure zu erklären ist, lässt sich zwar durch die mitgetheilten Versuche nicht entscheiden: für den in Rede stehenden Zweck genügt es jedoch vollkommen, den Beweis geliefert zu haben, dass die Kohlensäureproduction in der verwesenden Substanz fast ganz unterdrückt wird, wenn dieselbe einer Behandlung ausgesetzt wird, durch welche erfahrungsmässig die in derselben zahlreich vorkommenden Mikroorganismen getödtet werden. Demgemäss wird gefolgert werden dürfen, dass die Oxydation des Kohlenstoffs bei der Verwesung organischer Stoffe vornehmlich als ein physiologisch-chemischer, d. h. als ein an die Lebensthätigkeit niederer Organismen geknüpfter Vorgang zu betrachten ist.

Der Nachweis der Betheiligung niederer Organismen an den in der organischen Substanz vor sich gehenden Oxydationsprocessen wurde auch von *Th. Schloesing* und *A. Müntz*[2]) geliefert und zwar bezüglich der Umwandlung des Ammoniaks in Salpetersäure. Genannte Forscher haben dies dadurch darzuthun versucht, dass sie durch eine Bodenprobe, welche aus organischen Substanzen in grosser Menge Nitrate producirte, Chloroformdämpfe bliesen und dann Spüljauche aufgossen. Wurde die Nitrification durch Organismen bewirkt, so musste sie durch das Chloroform unterdrückt werden, weil dieses die Lebensthätigkeit dieser Lebewesen aufhebt, und dies war in der That der Fall. Das abfliessende Wasser enthielt Ammoniak in grosser Menge, aber die Nitrate und Nitrite waren vermindert. Das nächste Mal erhitzte *Schloesing* den Boden bis auf 100°, wonach derselbe keine Salpetersäure mehr producirte.

R. Warington[3]) bestätigte die von *Schloesing* und *Müntz* gemachte Angabe, dass Chloroform die Salpeterbildung hindere, und wies ferner nach, dass Schwefelkohlenstoff dieselbe Wirkung hat. Der Boden befand sich in U-förmigen Röhren. Durch eine derselben wurde atmosphärische, von Ammoniak befreite Luft gesaugt. In einer zweiten befand sich an der Eintrittsstelle der Aspirationsluft ein mit Chloroform, in einer dritten Röhre ein mit Schwefelkohlenstoff getränktes Schwämmchen. Die Untersuchung des Bodens ergab folgendes Resultat:

Stickstoff in Form von Nitraten und Nitriten per Million lufttrockenen Bodens.

	I.	II.
Ursprünglich vorhanden	6,12	8,91
nach Ventilation mit reiner Luft	40,87	50,86
mit Luft, geschwängert mit Schwefelkohlenstoff	6,70	9,75
mit Luft, geschwängert mit Chloroform	9,48	7,86.

In gleicher Weise wurde der Befund, dass stark erwärmter Boden die Fähigkeit verliert, den Stickstoff zu oxydiren, durch bezügliche Versuche von *J. von Fodor*[4]) er-

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Herausgegeben von *E. Wollny*. Bd. XV. 1892. S. 163.

[2]) Comptes rendus. T. LXXX. p. 1250; T. LXXXIV. p. 301; T. LXXXV. p. 1018 u. T. LXXXVI. p. 892. — Schon früher hatten *Pasteur* (1862) und *Alex. Müller* (Versuchsstationen. Bd. XVI. S. 273) die Vermuthung ausgesprochen, dass die Nitrification (Salpeterbildung) durch den Lebensprocess niederer Organismen vermittelt werde.

[3]) Journal of the chemical Society. 1878. January.

[4]) Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig. 1882.

härtet. Derselbe erhitzte eine Bodenprobe über den Flammen eines Verbrennungsofens und übergoss dieselbe täglich mit 6—8 ccm ausgekochtem und verdünntem ($^1/_{10}$) Harn. Boden und Harn blieben dabei vom atmosphärischen Staube und den darin enthaltenen Organismen verwahrt. Die abträufelnde klare Flüssigkeit war jetzt von der, von demselben Boden in nicht erhitztem Zustande filtrirten Flüssigkeit sehr verschieden, wie dies folgende Zahlen nachweisen. In je 100 ccm waren enthalten:

	durch nicht erhitzten Boden	durch erhitzten Boden
	filtrirte Flüssigkeit	
Ammoniak	1,75 mgr.	1,50 mgr.
Organische Substanz	19,20 „	84,04 „
Nitrate und Nitrite	92,00 „	0 „

Neuerdings wurde auch von *H. Plath*[1]) durch eingehende Versuche festgestellt, dass sterilisirte Erde nicht das Vermögen besitzt, Nitrification des Ammoniaks zu bewirken und dass alkalische Substanzen bei vollständigem Ausschluss aller Organismen unfähig sind, eine Oxydation des Ammoniaks durch atmosphärischen Sauerstoff hervorzurufen.

Angesichts der hier mitgetheilten Versuchsresultate erscheint die Schlussfolgerung gerechtfertigt, dass die Nitrification des Ammoniaks nicht auf rein anorganischem Wege erfolgt, sondern dass dieselbe an die Mithilfe von Mikroorganismen gebunden ist.

Da die Ammoniakbildung nach *C. Marchal* (S. 2) bei der Verwesung organischer Substanzen ebenfalls als ein Oxydationsvorgang aufzufassen ist, so wäre noch zu untersuchen, ob auch diese der Einwirkung niederer Organismen zuzuschreiben sei. Hierüber geben die einschlägigen Versuche von *A. Müntz* und *H. Coudon*[2]) Aufschluss. Dieselben analysirten nach einem absolut identischen Verfahren das Ammoniak in Erde, welche durch Erhitzen auf 120° C. sterilisirt worden war, und in solcher, welche mit einer geringen Menge nicht sterilisirter Erde besäet worden. Selbstverständlich wurden alle Proben unter Bedingungen gebracht, welche für die Persistenz des gebildeten Ammoniaks als günstig bekannt sind. Das Resultat war, dass nach 67 Tagen in dem sterilisirten Boden sich kein Ammoniak gebildet hatte, während in dem nicht sterilisirten in 100 gr Erde 41—110 mgr Ammoniak entstanden waren. Somit war die Ammoniakbildung vollständig unterdrückt durch Entfernung der Mikroorganismen, und rein chemische Processe scheinen nicht geeignet, Ammoniak zu produciren. Selbst nach $2^1/_2$ Jahren zeigte sterilisirte Erde keine Zunahme von Ammoniak, während sie nach Einbringung eines Stückchens Gartenerde dann sehr reichlich Ammoniak entwickelte. Ausschliesslich sind es also Mikroorganismen gewesen, denen man die Bildung des Ammoniaks zuschreiben muss. Dieselben sind sehr widerstandsfähig; eine Temperatur von 110°, die eine Stunde lang einwirkt, vermag sie nicht zu tödten; erst bei 120° ist ihre Wirkung vollkommen sicher zerstört.

Inwieweit Mikroorganismen an den Reductionsprocessen, der **Fäulniss**, betheiligt sind, lässt sich zunächst aus der Thatsache ermessen, dass nach den Versuchen von *P. P. Dehérain*[3]) über die Zersetzung des Stalldüngers und des Strohes,

[1]) Landw. Jahrbücher. Von *H. Thiel.* Bd. XVI. Heft 6. S. 891—915.
[2]) Comptes rendus. T. CXVI. 1893. p. 395.
[3]) Comptes rendus. T. XCVIII. 1884. Nr. 6. — T. XCIX. Nr. 1.

die Sumpfgasgährung durch Zusatz von Chloroform oder Erhitzen der Substanz auf 85° vollständig unterbrochen wird. Ebenso wird der bei der Reduction der Nitrate stattfindende Vorgang (Denitrification), wie *U. Gayon* und *G. Dupetit*[1]) festgestellt haben, aufgehoben, wenn die Versuchsflüssigkeit mit Chloroform oder Kupfersulfalt versetzt oder durch höhere Temperatur sterilisirt wird. Diese Thatsachen lassen sich ohne Zweifel nur durch die Annahme erklären, dass Mikroorganismen an den betreffenden Vorgängen betheiligt seien.

Der Vollständigkeit wegen sei schliesslich noch die Beobachtung von *Alexander Müller*[2]) angeführt, dass die Ammoniakgährung des Harnstoffs an die Thätigkeit niederer Organismen insofern geknüpft zu sein scheint, als auf Zusatz von Schwefelsäure, Salpetersäure und Salzsäure, besonders aber von schwefeliger Säure, Chlorkalk, Schwefelkohlenstoff und Chloroform der Process in einem ausserordentlichen Grade herabgedrückt wird.

Wenngleich aus den Resultaten solcher, wie vorstehend angeführter Versuche mit Sicherheit zur Zeit angenommen werden muss, dass die bei dem Zerfall der organischen Substanzen vor sich gehenden chemischen Processe durch niedere Organismen bewirkt werden, so ist damit noch keineswegs allen in wissenschaftlicher Beziehung zu stellenden Anforderungen Genüge geleistet, denn offenbar wird man weiter gehen und, um die Wirkungen beurtheilen zu können, welche ein lebender Organismus eben durch seinen Lebensprocess ausübt, diesen Organismus selbst, seine Formen und Eigenschaften kennen lernen müssen. Für vorliegende Zwecke wird es besonders nothwendig sein, die Zugehörigkeit der verschiedenen, in den sich zersetzenden Substanzen vorkommenden Organismen zu den einzelnen charakteristischen chemischen Processen näher zu ergründen, und somit den oben an zweiter Stelle bezeichneten Weg der Untersuchung zu betreten. Was bis jetzt in dieser Richtung geleistet wurde, ist verhältnissmässig wenig und im Allgemeinen nur insoweit brauchbar, als es sich um die Gewinnung einer ungefähren Vorstellung von den bezüglichen Vorgängen handelt.

Zur Vereinfachung der Darstellung dürfte es zweckmässig sein, zunächst die Processe, welche sich unter dem Zutritt des Sauerstoffs vollziehen, zu besprechen, und hieran jene anzureihen, welche bei vermindertem Zutritt oder bei Abwesenheit von Luft in die Erscheinung treten. Nach dem Vorgange von *Pasteur* würde man in biologischer Hinsicht die Organismen der ersteren Kategorie aërobiotische, die der zweiten Gruppe als anaërobiotische zweckmässig bezeichnen können. (Vergl. Capitel VI.)

Die **Verwesung**, welche, wie oben gezeigt, durch das Auftreten von Kohlensäure, Wasser, Ammoniak, Nitraten und Sulfaten charakterisirt ist, geht ohne Zweifel nur unter Mitwirkung solcher Organismen vor sich, welche ein grosses Oxydationsvermögen besitzen. Schimmelpilze sind hierbei nur insoweit betheiligt, als die Substanz eine schwach saure Beschaffenheit besitzt, während bei neutraler oder schwach alkalischer Reaction gewisse Spaltpilze (Schizomyceten) sich hauptsächlich an den betreffenden Vorgängen betheiligen. Von letzteren sind bisher nur wenige näher studirt worden; nur bezüglich der Nitrification und der Ammoniakbildung ist man zu Resultaten gelangt, welche die Beziehungen bestimmter Organismen zu diesen Processen darthun.

---

[1]) Comptes rendus. T. XCV. p. 644 u. 1365.

[2]) Landw. Versuchsstationen Bd. XXXII. 1885. S. 271.

T. Schloesing und *A. Müntz*[1]), welche zuerst den Nachweis lieferten, dass die **Nitrification** im Boden durch organisirte Fermente verursacht werde, operirten mit wässerigen Lösungen, in denen, wenn sie geeignet präparirt und gut durchlüftet sind, die Salpeterbildung sehr gut von Statten geht. Es wurden entweder geklärte oder sterilisirte Abfallwässer oder verdünnte alkalische Lösungen, die mit den nöthigen Mineralstoffen, einem Ammoniaksalz und organischer Substanz versehen waren, in Anwendung gebracht. Die Flüssigkeiten waren so klar, dass man mit dem Mikroskop auch nicht einen einzigen organisirten Körper wahrnehmen konnte, und blieben, nachdem sie auf 110° erhitzt worden waren, eine unbegrenzt lange Zeit völlig unverändert. Brachte man aber eine Spur Erde hinein und gestattete man dem Sauerstoff (geglühte und filtrirte Luft) genügenden Zutritt, so begann nach wenigen Tagen bei geeigneter Temperatur die Nitrification. In diesem Zeitpunkt erblickte man unter dem Mikroskop zahlreiche längliche sehr kleine Gebilde, welche eine grosse Aehnlichkeit mit den von *Pasteur* und früher schon von *R. Koch* und *F. Cohn* in den Wässern gefundenen glänzenden Körperchen (Corpuscules brillants) hatten. Indem man solche in der Nitrification begriffene Flüssigkeiten in anderen sterilen Lösungen benutzte, erhielt man Flüssigkeiten, in denen sich Nitrate bildeten, ohne dass man andere als die genannten Organismen darin auffinden konnte. Es scheint daher ausser allem Zweifel, dass dieser Organismus die Oxydation des Stickstoffs bewirkt, und *Schloesing* und *Müntz* betrachten ihn deshalb als Salpeterferment. Es gelang ihnen auch aus der Ackererde Bacterien zu isoliren, welche das Vermögen zeigten, Ammoniaksalze in Nitrate umzuwandeln. Aus dem Umstande, dass in der Luft keine nitrificirenden Organismen vorkommen, schliessen genannte Forscher, dass nicht alle Bacterienarten ein Nitrificationsvermögen besitzen, sondern dass diese Fähigkeit nur gewissen im Boden und im Wasser vorkommenden Arten beizumessen ist.

In späteren Untersuchungen will *A. Müntz*[2]) gefunden haben, dass die nitrificirenden Organismen nur zu einer Bildung von salpetrigsauren Salzen Veranlassung gäben und dass das seltene Vorkommen der Nitrite im Boden durch die rapide Oxydation derselben in Folge gleichzeitiger Einwirkung von Luft und Kohlensäure bedingt werde, indem letztere unter Bildung eines Carbonates die salpetrige Säure frei mache und sich diese mit Sauerstoff direct zu Salpetersäure verbinde. Aus diesem Grunde könne aus der Gegenwart von Nitraten im Boden keineswegs auf das Vorhandensein eines specifischen Salpeterfermentes geschlossen werden.

J. M. H. Munro[3]) gelangt in seinen Versuchen zu dem Schluss, dass die Nitrification sich unter dem Einfluss zweier Fermente vollziehe, von denen das eine die Umsetzung der stickstoffhaltigen Stoffe in Ammoniak, das andere die Oxydation des gebildeten Ammoniaks zu Nitriten und Nitraten bewirke. *Th. Leone*[4]) ist andererseits auf Grund von Versuchen, welche er mit Hilfe von Reinculturen anstellte, der Meinung, dass dieselben Organismen, welche bei Gegenwart organischer Substanzen Ammoniak bildeten, bei Abwesenheit derselben auch Nitrificationsprocesse veranlassten.

---

[1]) Comptes rendus. T. LXXX. p. 1250; T. LXXXIV. p. 301; T. LXXXV. p. 1018; T. LXXXVI. p. 892.

[2]) Comptes rendus. T. CXII. 1891. p. 1142.

[3]) Journ. of the chem. Soc. 1886. p. 632.

[4]) Gazetta chimica italiana. T. X. p. 405.

A. Celli und *F. Marino-Zucco*[1]) schliessen wiederum aus ihren Beobachtungen, dass die Bacterien, besonders Micrococcus cereus, zwar die Salpeterbildung verursachen können, dass dieselben aber keine unerlässliche Bedingung dieses Processes seien, sondern nur diesen bedeutend beförderten. Die Untersuchungen von *F. Uffelmann*[2]) führten zu dem Ergebniss, dass die im Boden und Wasser vorkommende salpetrige Säure aus der Luft absorbiert sein könne, dass sie aber, soweit dies nicht der Fall ist, ihren Ursprung einem biologischen Process und nicht einer einfachen Action des Luftsauerstoffs verdanke. Im Gegensatz zu den bisher angeführten Versuchsergebnissen konnte *L. Adametz*[3]) in zwei von ihm untersuchten Ackererden einen Spaltpilz, welcher die Eigenschaft gehabt hätte, grössere Mengen von Ammoniak in Salpetersäure zu verwandeln, ein „Salpeterferment", nicht auffinden.

W. Heraeus[4]) gelang es, den Nachweis zu liefern, dass Micrococcus prodigiosus, wurzelförmige Bacterien, Käsespirillum, Finkler'sche Bacterien, Typhus- und Milzbrandbacillen, Staphylococcus citreus Ammoniak in salpetrige Säure umzuwandeln vermögen. Hiernach würden verschiedene Spaltpilze zu einer Nitrification sich befähigt erweisen.

Im Anschluss an eine Mittheilung von *Heraeus* hat *F. Hueppe*[5]) nachgewiesen, dass es gewisse farblose Bacterien giebt, welche das Vermögen besitzen, im Dunkeln aus kohlensaurem Ammoniak ein der Cellulose ähnliches Kohlehydrat zu bilden, wobei sich Sauerstoff abscheidet, der jedoch, weil er sofort zur Oxydation des Ammoniaks in Salpetersäure verbraucht wird, nicht wahrnehmbar ist. Aehnlich sollen sich die sogen. Purpurbacterien verhalten, die im Dunkeln Sauerstoff entwickeln. Bacterien solcher Art, welche bei Abwesenheit des Lichtes Kohlenstoff assimiliren und Sauerstoff ausscheiden, würden demnach insgesammt das Vermögen besitzen, den Stickstoff des Ammoniaks zu oxydiren.

Um die nitrificirenden Organismen zu isoliren, wurden von *P. F. Frankland* und *G. C. Frankland*[6]) während dreier Jahre Versuche mit negativem Resultat angestellt, bis nach der „Verdünnungsmethode" eine Bacillococcusform gewonnen wurde, welche nitrificirend wirkte, die aber, auf Peptongelatine übertragen, nicht weiter wuchs, in Fleischbrühe jedoch sich sehr üppig entwickelte, und in diesem Medium gezüchtet, dann auch auf Peptongelatine lebhaftes Wachsthum zeigte. In Ammoniak enthaltende Lösungen übergeführt, wirkte der auf diese Weise isolirte Organismus kräftig nitrificirend.

In sehr eingehender Weise hat sich *R. Warington*[7]) seit einer langen Reihe von Jahren mit den Nitrificationsvorgängen beschäftigt und gelangte nach vielen vergeblichen Bemühungen dazu, einerseits ein organisirtes Ferment, welches das Ammoniak nur zu salpetriger Säure oxydirt, in Nitritlösungen eingeführt, aber keine Nitrate zu bilden vermag, und andererseits ein Salpeterferment rein darzustellen, welches

---

[1]) Atti della R. Accad. dei Lincei. Rendiconti. Ser. 4. Vol. II. 1886. p. 519.
[2]) Archiv für Hygiene. Bd. IV. S. 82.
[3]) Untersuchungen über die niederen Pilze der Ackerkrume. Inaug.-Dissert. Leipzig. 1886.
[4]) Zeitschrift für Hygiene. Bd. I. 1886. S. 211.
[5]) Tageblatt d. Naturf.-Vers. in Wiesbaden. 1887.
[6]) Chemical News. Bd. LXI. Nr. 1582. p. 135.
[7]) On Nitrification. Journ. of the chem. Soc. 1878. 1879. 1884. 1891.

sich in anorganischen Lösungen entwickelt und energisch Nitrite in Nitrate verwandelt, an sich aber unfähig ist, aus Ammoniak Nitrite oder Nitrate zu produciren.

Diese Beobachtungen wurden durch die Ergebnisse sehr sorgfältig angestellter Versuche von *S. Winogradsky*[1]) im Wesentlichen bestätigt. Derselbe stellte fest, dass die nitrificirenden Organismen in Medien, welche nur Mineralsalze und Ammoniak, aber keine Spur von organischen Substanzen enthielten, sich rasch vermehrten nnd dass dieselben somit im Stande sind, den Kohlenstoff aus der Kohlensäure zu assimiliren. Auf Grund dieser Erkenntniss gelang es *Winogradsky*, alle anderen, auf die Gegenwart organischer Substanzen angewiesenen Mikroorganismen durch Culturen in Lösungen von Kieselerde oder Kieselerde-Gallerte, denen neben Ammoniak die mineralischen Nährsalze beigegeben waren, zu entfernen und die Nitrificationsorganismen rein darzustellen. Letztere unterschieden sich dadurch, dass die einen Ammoniak nur in salpetrige Säure überzuführen vermochten, während die anderen lediglich die Fähigkeit besassen, Nitrite in Nitrate zu verwandeln, aber eine Oxydation des Ammoniaks weder zu Nitriten noch zu Nitraten zu bewirken im Stande waren.

In Erde aus Zürich hat *Winogradsky* von den isolirten Salpetrigsäure-Organismen zwei Formen unterscheiden können, eine Monaden- und eine Zoogloeaform. Die erstere besteht aus runden, lebhaft sich bewegenden, mit einer kurzen Geissel versehenen Gebilden, welche die Flüssigkeit trüben und nur auftreten, wenn die Lösung reichlich Ammoniak enthält. Die zweite bildet am Boden der klaren Flüssigkeit ruhende kugelförmige, durch gallertartige Substanz zusammengehaltene flockige Massen, welche ein nicht minder charakteristisches Aussehen darbieten.

Aus verschiedenen Gegenden Europas, Asiens und Afrikas bezogene Erdproben ergaben bei ähnlicher Behandlung gleichfalls Monaden- und Zoogloeaformen des Salpetrigsäure-Organismus, die in beiden Gestaltungsformen mit dem in Zürich gefundenen grösste Aehnlichkeit hatten. Nur die Monaden aus Java besassen längere Geisseln, dabei war aber ihre Beweglichkeit eine geringere als bei den europäischen, speciell den Züricher Monaden. Erdproben aus Südamerika und Australien schienen salpetrige Organismen ganz anderer Art zu enthalten; die Beobachtungen konnten jedoch aus Mangel an Material nicht zu Ende geführt werden. Nur aus Erde, die von Quito stammte, konnte *Winogradsky* die Salpetrigsäure-Organismen darstellen, welche stets viel grösser waren als die bisher beschriebenen Monaden, sich nicht färbten, eine ziemlich dicke, gelatinöse Membran besassen und deren Beweglichkeit nicht hat festgestellt werden können. *Winogradsky* bezeichnet dieselben daher als Megalococcen. Erde aus Melbourne und aus Brasilien gab gleichfalls den Megalococcus.

Sehr wesentlich von den bisher erwähnten Mikroorganismen sind die Salpetersäure bildenden Organismen, welche ausschliesslich aus kleinen Stäbchen bestehen, verschieden. Dieser Bacillus besitzt, wie auch die neueren diesbezüglichen Untersuchungen von *R. Burri* und *A. Stutzer* dargethan haben, in hohem Maasse das Vermögen, mit Hilfe des atmosphärischen Sauerstoffs Nitrite zu Nitraten zu oxydiren. Dies

---

[1]) Annales de l'Institut Pasteur. 1890. Nr. IV u. V. p. 113 u. 257. 1891. Nr. IX. p. 577. — Comptes rendus. T. CXIII. 1891. Nr. 2. p. 89. — Archives des sciences biologiques publiées par l'Institut impérial de médecine expérimentale à St. Pétersbourg. 1892. T. I. Nr. 1 u. 2. p. 86.

findet jedoch nur dann statt, wenn das nitrithaltige Substrat arm an organischen Substanzen ist, sind letztere in reichlichen Mengen vorhanden, so bleiben die allfällig vorhandenen Nitrate unangetastet und vermehrt sich der Bacillus auf Kosten der organischen Substanzen. „Die Oxydation der salpetrigsauren zu salpetersauren Salzen bildet daher wahrscheinlich nur eine Energiequelle, welche sich der Bacillus kraft eines ihm eigenen, mit dem lebenden Plasma eng verbundenen specifischen Fermentes bei Mangel an stickstoffhaltigen Verbindungen erschliessen kann."

Hinsichtlich der Benennung der in Rede stehenden Organismen schlägt *Winogradsky* vor, die ganze Gruppe von Mikroben, welche das Ammoniak in Salpetersäure umwandeln, mit „Nitrobacterien" zu bezeichnen. Die Salpetrigsäure-Fermente der alten Welt würden die Gattung Nitrosomonas bilden, mit den beiden Species N. europaeus und N. javanensis; die Salpetrigsäure-Mikroben der neuen Welt würden die Gattung Nitrosococcus bilden. Das Salpeterferment hätte den Namen Nitrobacterium zu tragen.

Ob die **Ammoniakbildung** bei der Zersetzung organischer Stoffe einem bestimmten Ferment untersteht, oder ob mehrere Arten von den reichlich im Boden vorhandenen sich dabei betheiligen, suchten *A. Müntz* und *H. Coudon*[1]) zu ermitteln. Sie isolirten zu diesem Zweck von den im Boden häufigsten Mikroorganismen fünf verschiedene Species (3 Bacillen und 2 Micrococcen) und besäeten mit denselben, sowie mit zwei Schimmelpilzen (Mucor racemosus und Fusarium) Erde, welche mit organischem Dünger versetzt worden war. Es trat in derselben keine Ammoniakbildung auf, wenn keine Organismen beigegeben waren, während auf Zusatz von solchen Ammoniak gebildet wurde, und zwar betheiligten sich alle untersuchten Organismen in mehr oder weniger reichlicher Weise an diesem Process. Dieser würde sich sonach wesentlich von der Nitrification unterscheiden, mit welcher er zwar das gemeinsam hat, dass er nicht auf rein chemischem Wege erfolgt, sondern ein durch Mikroorganismen bedingter ist, aber während die Nitrification von einem ganz bestimmten Organismus hervorgebracht zu sein scheint, ist die Ammoniakbildung eine Function sehr verschiedener die Erde bevölkernder Mikroorganismen.

Nach den Untersuchungen von *E. Marchal*[2]) erfolgt die Ammoniakbildung wesentlich unter dem Einfluss verschiedener Mikroben (Bacterien, Hefe- und Schimmelpilze), welche in den höheren Bodenschichten wuchern. In der bearbeiteten Erde ist die Thätigkeit der Bacterien vorherrschend; in den humosen, sauren Böden betheiligen sich vornehmlich die Schimmelpilze an dem Vorgange.

Unter den Bacterien erwies sich am energischsten bei der Ammoniakbildung Bacillus mycoides („Erde-Bacillus" der deutschen Autoren), welcher zuerst von *Flügge* aufgefunden und später von *Fränkel* sehr eingehend unter dem Namen „Wurzelbacillus" beschrieben worden ist. Die mit diesem Bacillus ausgeführten Culturen ergaben, dass in der über der Flüssigkeit (10% Eiweisslösung, sterilisirt) befindlichen Atmosphäre des Versuchskolbens eine beträchtliche Absorption des Sauerstoffs und eine entsprechende Entwickelung von Kohlensäure nachzuweisen waren, während sowohl Wasserstoff als Sauerstoff in den gasförmigen Zersetzungsproducten fehlten. In der Flüssigkeit selbst fand man an Stelle des vollkommen zersetzten Eiweisses Ammoniak und Kohlensäure nebst kleinen Mengen von Peptonen, Leucin, Tyrosin, fetten Säuren und Schwefelsäure.

---

[1]) Comptes rendus. T. CXVI. 1893. p. 395.

[2]) Bulletin de l'Académie belgique. Sér. 3. T. XXV. 1893. p. 727.

Die Culturen mit anderen stickstoffhaltigen Substanzen ergaben folgende Resultate. Die eiweissartigen Körper Casein, Fibrin, Gelatin, Gluten, Legumin, Myosin und Pepton wurden ebenso wie das Eiweiss selbst durch den Bacillus unter Ammoniakbildung oxydirt; ebenso Blutserum und Milch. Auch die nicht eiweissartigen stickstoffhaltigen Verbindungen: Leucin, Tyrosin, Kreatin und Asparagin wurden in Ammoniak umgewandelt. Anders verhielt sich aber der Harnstoff, der so leicht in kohlensaures Ammoniak zerfällt. In sterilisirten Lösungen mit Bacillus mycoides beschickt, bot er demselben keinen günstigen Nährboden; der Erdbacillus entwickelte sich in dieser Lösung nicht weiter. Ebenso blieb seine Entwickelung in Lösungen aus, welche salpetersauren Harnstoff und Ammoniaksalze enthielten.

In den mit verschiedenen Schimmelpilzen angestellten Versuchen wurde von *Marchal*[1]) constatirt, dass bei allen den Arten, die sich kräftig entwickelt hatten, Ammoniakbildung eingetreten war. Dahingegen konnten in keinem Falle in der eiweisshaltigen Culturflüssigkeit oder innerhalb der gebildeten Pilzmycelien Nitrate nachgewiesen werden. Die Schimmelpilze sind somit nicht im Stande, aus Eiweissstoffen Nitrate zu bilden. Ebensowenig erfolgte übrigens Nitratbildung bei Culturen, in denen den Schimmelpilzen der Stickstoff ausschliesslich als Ammoniaksalz geboten wurde.

Eine grosse Rolle spielen die Schimmelpilze nach Ansicht genannten Forschers bei der Verwandlung des im Boden enthaltenen organisch gebundenen Stickstoffs in Ammoniak. Dass verschiedene Autoren, wie z. B. *L. Fränkel* (Capitel V), im Boden so wenig Schimmelpilze gefunden haben, beruht in erster Linie auf der alkalischen Reaction der von diesen benutzten Culturmedien. Unter Anwendung saurer Flüssigkeiten konnte *Marchal* denn auch aus den verschiedenen Bodenarten eine grosse Anzahl verschiedener Schimmelpilze isoliren, und zwar fand er sehr verbreitet eine neue Aspergillus-Art, die als Aspergillus terricola bezeichnet wird.

Unter den an den Zutritt von Luft gebundenen Gährungserscheinungen wäre hier die Essigsäuregährung anzufügen, welche durch die Thätigkeit von Mikroorganismen hervorgebracht wird, und zwar nach älteren Anschauungen durch Mycoderma aceti (Micrococcus aceti, Bacillus aceti), nach den Untersuchungen von *Hansen* durch zwei verschiedene Bacterienarten, Bacterium aceti und B. Pastorianum, welchen von *Peters* noch ein weiteres Bacterium und von *Lafar* noch ein Sprosspilz zugesellt wird.

Soweit die bisherigen Untersuchungen ein Urtheil darüber zulassen, ist mit ziemlicher Sicherheit anzunehmen, dass auch die bei beschränktem Sauerstoffzutritt resp. unter Luftabschluss sich vollziehenden Zersetzungsprocesse durch die Lebensthätigkeit niederer Organismen vermittelt werden.

Die bei der **Fäulniss** auftretende Sumpfgasgährung (Cellulosegährung) wird, wie schon *P. P. Dehérain* und *U. Gayon*[2]) nachgewiesen hatten, durch Mikroben veranlasst, deren morphologische Charakterisirung indessen noch aussteht. Nach den Untersuchungen von *F. Hoppe-Seyler*[3]) soll an diesem Process vornehmlich Bacillus butyricus *Prazmowsky* (Bacillus Amylobacter *van Tieghem*, Clostridium butyricum) betheiligt sein[4]).

---

[1]) Bulletin de la Société Belge de Microscopie. T. XIX. 1893. p. 65—74.

[2]) Journal de l'agriculture. 1884. Nr. 781. p. 507.

[3]) Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. X. 1886.

[4]) Vibrio rugula (Spirillum Rugula) kommt hierbei mit in Betracht.

Die von *Dehérain* beobachtete, durch das gleichzeitige Auftreten von Buttersäure charakterisirte Wasserstoffgährung wird gleichfalls durch Mikroorganismen verursacht, welche sich von jenen, welche die Sumpfgasgährung hervorrufen, dadurch unterscheiden sollen, dass ihre Thätigkeit nicht an den Zutritt von Luft geknüpft ist, sondern ununterbrochen bei Luftabschluss stattfindet. Nach genanntem Forscher sollen zwei verschiedene organisirte Fermente existiren, von denen das eine Sumpfgas, das andere Wasserstoff neben Kohlensäure liefert. Es wird ferner behauptet, dass das eine Ferment das andere ausschliesse, so dass es selten vorkomme, dass die bei der Gährung entwickelten Gase zugleich Sumpfgas und Wasserstoffgas enthalten; doch sei letzteres möglich.

Nach *H. Tappeiner*[1]) findet bereits im Pansen, in der Haube und im Dickdarm des Rindes eine Gährung der Cellulose durch Bacterien statt, deren Reinzüchtung jedoch bis jetzt nicht gelungen ist.

Die übrigen Kohlehydrate erleiden gleichergestallt mannigfache Umsetzungen und Spaltungen, an welchen sich zahlreiche Bacterienarten betheiligen. Von der Stärke wissen wir, dass sie von verschiedenen Bacterien gelöst und in zuckerartige Stoffe übergeführt wird, welche entweder weitere Umsetzungen erfahren oder zu Kohlensäure und Wasser verbrannt werden.

Unter den betreffenden Vorgängen sei zunächst der Milchsäuregährung gedacht, welche durch Bacillus acidi lactici hervorgerufen werden soll; doch giebt es ausser diesem noch eine Reihe von Organismen (Pediococcus acidi lactici *Lindner*, Milchsäurebacterien von *Hueppe*, *Zopf*, *Peters*, *Weigmann*, *Storch* und *Quist)*, welche dieselben Wirkungen hervorzurufen befähigt sind, wenngleich in geringerem Grade.

Als Erreger der Buttersäuregährung gilt Bacillus butyricus; ausser diesem scheinen aber noch verschiedene andere Bacterienarten, so z. B. die Buttersäure bildenden Bacillen von *Liborius* und *Hueppe* hierzu befähigt zu sein.

Die Alkoholgährung wird durch die Thätigkeit verschiedener Hefepilze, Saccharomyceten, veranlasst, von welchen hauptsächlich Saccharomyces cerevisiae, S. Pastorianus, S. ellipsoideus, S. Marxianus, S. exiguus und S. Ludwigii zu nennen sind.

Die Vergährung der Fettsäuren und der organischen Säuren, welche im Pflanzenkörper vorkommen, wird gleichergestalt durch niedere Organismen bewirkt und zwar vornehmlich von Bacillen, deren morphologische Charakterisirung noch aussteht.

Bei der Zersetzung der Eiweissstoffe und amidartigen Verbindungen sind zahlreiche Bacterien betheiligt, deren Leistung sowohl in qualitativer wie in quantitativer Hinsicht verschieden ist. Eine schärfere Präcisirung der Producte ist allerdings noch durchaus erforderlich, obwohl die bisherigen Untersuchungen über verschiedene Erscheinungen bereits werthvolle Anhaltspunkte liefern. Von Bacillus putrifici coli ist bereits bekannt, dass derselbe Umsetzungen hervorruft, bei welchen Pepton, Tyrosin, Phenol, Indol, Skatol, Fettsäuren, Ammoniak u. s. w. entstehen. Pepton und stinkende Gase werden von Proteus vulgaris, P. mirabilis und P. Zenkeri erzeugt. Bacillus butyricus *Hueppe* ruft die Bildung von Pepton, Leucin, Tyrosin, Ammoniak und bitter schmeckenden Stoffen, Bacillus fluorescens liquefaciens solche von Pepton, flüchtigen Fettsäuren und einem grünen Farbstoff hervor. Bacillus pyocyaneus und B. janthinus veranlassen die Bildung von Pepton und Ammoniak. Trimethylamin ent-

[1]) Zeitschrift für Biologie. Bd. XIX. S. 288. Bd. XX. S. 52.

steht unter dem Einfluss von Bacillus ureae und B. prodigiosus, Schwefelwasserstoff und Ammoniak bei Gegenwart des *Miller*'schen Bacillus, während stinkende Gase sich entwickeln, wenn die Bedingungen zur Entwickelung und Vermehrung von Bacillus saprogenes I, II, III, B. coprogenes foetidus, B. pyogenes foetidus, Micrococcus foetidus u. s. w. gegeben sind. Bacillus magnus, B. spinosus, B. liquefaciens und die Rauschbrandbacillen liefern bei der Zersetzung des Serumeiweisses an gasförmigen Körpern Wasserstoff und Methylmerkaptan, von flüchtigen Fettsäuren die ganze Reihe derselben, von Amidosäuren das Leucin und schliesslich einige aromatische Säuren. Bei dem Zerfall des Leims wird durch die genannten Bacterien weder Tyrosin noch Indol und Skatol, wohl aber Benzoësäure gebildet *(Nencki)*[1]). Bacillus subtilis kommt hier nur durch sein Vermögen, Eiweiss und Leim zu peptonisiren, in Betracht, wodurch diese Stoffe zur Aufnahme für andere Organismen vorbereitet werden. Eine besondere Gährungserregung ist demselben nicht zuzuschreiben.

Nachdem es gelungen ist, die fäulnisserregenden Bacterien rein zu züchten, wird von weiteren Forschungen erwartet werden dürfen, dass dieselben über die Wirkungsweise jeder einzelnen Art unsere Kenntniss erweitern werden. Vorläufig wird man sich mit den vorstehenden Daten begnügen müssen, welche bereits mit voller Deutlichkeit erkennen lassen, dass die Zersetzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile der organischen Substanzen der Thätigkeit niederer Organismen zugeschrieben werden muss.

In landwirthschaftlicher Beziehung hat besonders jener Process, der oben als **Denitrification** bezeichnet wurde, ein Interesse in Anspruch zu nehmen. Dass derselbe in gleicher Weise wie die umgekehrte Reaction (Salpeterbildung) als ein physiologisch-chemischer aufzufassen sei, wurde zuerst durch die Untersuchungen von *U. Gayon* und *G. Dupetit*[2]) wahrscheinlich gemacht.

Diese Forscher fanden in ihren mit Nitraten angestellten Versuchen, dass diese nach und nach verschwanden und die Flüssigkeit sich mit mikroskopischen Organismen füllte. Dass diese Mikroben die Ursache der Reduction der Nitrate sind, ergab sich aus der Thatsache, dass die Flüssigkeit klar und das Nitrat unverändert blieb, wenn man die Lösung durch Wärme sterilisirte oder wenn man Chloroform und Kupfersulfat hinzusetzte. Ausser diesen Organismen, welche die Nitrate bis zur Bildung von Stickstoff reduciren, beobachteten beide Forscher bei weiteren Untersuchungen noch andere Mikroben, welche den Nitraten nur zwei Drittel ihres Sauerstoffs entziehen, d. h. dieselben in Nitrite verwandeln.

Zu diesen Organismen gehört in erster Reihe ein Mikrobion, welches im Reinzustande isolirt werden konnte und aus kleinen beweglichen Stäbchen besteht, die wenig Sporen geben. Dieses mit a bezeichnete Mikrobion (Bacillus denitrificans) wurde in Hühnerbrühe mit 60 gr Kaliumnitrat pro Liter in langen, engen Röhren mit wenig Luft oder in einer Kohlensäureatmosphäre, resp. im Vacuum ausgesäet. Bei 35° C. entwickelte sich der Organismus schnell und trübte die Flüssigkeit, ohne die geringste Menge von Gas zu entwickeln. Gleichwohl hatte sich alles Nitrat in Nitrit umgewandelt, und eine kleine Menge während der Reaction gebildeter Kohlensäure hatte sich als Kaliumcarbonat aufgelöst. Die in der entstandenen Kohlensäure enthaltene Menge Sauerstoff war geringer als die, welche das Nitrat bei der Zersetzung liefert.

---

[1]) Monatshefte für Chemie. 1889. Nr. 10.
[2]) Journal de l'agriculture. 1884. Nr. 781. p. 507.

Da sich nun kein freies Gas entwickelt hat, so ist die Differenz des Sauerstoffs wahrscheinlich von dem Mikrobion bei seiner Entwickelung absorbirt worden. Dieser Organismus lebt sehr leicht und reducirt kräftig in der Hühnerbrühe; er lebt sogar in derselben, wenn sie mit salpetersaurem Kali gesättigt ist, und er kann täglich eine Menge von 10 gr Kaliumnitrat pro Liter zerlegen. Hingegen entwickelt er sich schlechter in den künstlichen Flüssigkeiten.

Unter den Nitrit liefernden Organismen war ein zweites b, bestehend aus länglichen unbeweglichen Stäbchen mit Sporen zu isoliren, und zwei Mikroben, das eine c aus langen sporenreichen Fäden, das andere d aus kleinen unbeweglichen Stäbchen mit je einer Spore bestehend. In Hühnerbrühe mit 10 gr Kaliumnitrat im Liter geben die vier Mikroben täglich pro Liter: a. 9,6 gr Nitrit, b. 2,8 gr, c. 6,8 gr und d. 5,6 gr. Das gleichfalls untersuchte Mikrobion der Hühnercholera gab 0,5 gr, die Milzbrandbacterie 0,1 gr und die septische Bacterie 0,8 gr.

Die meisten mikroskopischen Organismen sollen dieselbe Eigenschaft wie die vorgenannten besitzen, obwohl ihre zerlegende Wirkung nicht immer so weit geht. Bisher wurde von genannten Forschern nur ein einziger aufgefunden, der, obwohl er in mit Nitrat versetzter Brühe leben kann, kein Nitrit giebt.

Im Anschluss an vorstehende Versuche haben sich *E. Giltay* und *F. H. Aberson*[1]) bemüht, in gleicher Weise ein Mikrobion ausfindig zu machen, welches die Nitrate zu Nitriten, Ammoniak und Stickstoff zu reduciren vermag. Das Ergebniss war, dass zu Wageningen (Holland) im Herbst 1889 und 1890 sowohl im Boden wie im Wasser und in der Luft eine Bacterie sehr verbreitet sich gezeigt hatte, welche im Stande ist, die Nitrate vollständig zu desoxydiren. Ihre Reindarstellung gelingt leicht, wenn man Gelatine oder Bouillon mit einer bestimmten Nährflüssigkeit, welche 2 gr Kaliumnitrat, 1 gr Asparagin, 2 gr Magnesiumsulfat, 5 gr Citronensäure, 2 gr Kaliummonophosphat, 0,2 gr Chlorcalcium und einige Tropfen Eisenchlorid im Liter enthält und durch Kali neutralisirt ist, der Luft exponirt oder mit Erdauszug versetzt.

Sehr merkwürdig ist die Beobachtung von *E. Marchal*[2]), dass der Erdbacillus (Bacillus mycoides), der wie oben (S. 27) gezeigt, in Lösungen von Eiweiss und amidartigen Verbindungen zur Bildung von Ammoniak Veranlassung giebt, in Flüssigkeiten, welche Nitrate enthalten, eine Reduction der letzteren zu Nitriten und Ammoniak herbeiführt. Beschickt man eine Zuckerlösung, welche 2 gr Natriumnitrat im Liter enthält, mit dem Erdbacillus, so findet man in den ersten Tagen eine sehr langsame Entwickelung des Mikroben; aber nach 2—3 Tagen erscheinen in der Flüssigkeit dichte und zahlreiche Flocken, und die Flüssigkeit zeigt die Reaction der salpetrigen Säure und des Ammoniaks, von denen letzteres in grosser Menge anwesend ist. Dieser bereits von anderen Forschern an diesem Mikroben erkannte Reductionsvorgang ist so energisch, dass nach 10—15 Tagen alle Salpetersäure in Ammoniak umgewandelt ist.

Es würde hiernach derselbe Organismus bald als oxydirendes Agens dem Eiweiss gegenüber, bald als reducirendes den Nitraten gegenüber wirken. Der Bacillus mycoides, der sich als aërob in Lösungen des Eiereiweisses u. s. w. entwickelt, verbrennt das Albumin mittelst des Luftsauerstoffs, während er in den gezuckerten

[1]) Archives Néerlandaises. 1891. T. XXV. p. 341.

[2]) Bulletin de l'Académie belgique. Sér. 3. T. XXV. 1893. p. 727.

Nitratlösungen den Zucker verbrennt und den hierzu nöthigen Sauerstoff den leicht reducirbaren Nitraten entnimmt. Wenn aber wirklich der Erdbacillus den Sauerstoff, den er zu seiner Athmung braucht, den Nitraten entnehmen kann, dann muss er in Anwesenheit dieser Salze auch ohne Sauerstoff anaërob leben können, und dies hat der Versuch vollkommen bestätigt. In einer mit Zucker versetzten Nitratlösung lebte und entwickelte sich der Bacillus mycoides in einer Wasserstoff- und einer Kohlensäure-Atmosphäre ebenso gut wie in atmosphärischer Luft.

Für die nitrificirenden Organismen wurde von *Th. Leone*[1]) ein ähnlicher Fall beobachtet. Er hatte nämlich gefunden, dass bei Zusatz von Nährgelatine oder anderen, die Entwickelung des Salpeterferments befördernden Substanzen zu dem Wasser, in welchem die Nitrification in normaler Weise stattgefunden hatte, dieser Process sistirt und die bereits fertige Salpetersäure zu salpetriger Säure und diese selbst zu Ammoniak reducirt wird. Wenn hingegen die organische Nährsubstanz aufgebraucht ist, dann bewirken die Mikroorganismen wieder die Oxydation des Ammoniaks zu salpetriger und Salpetersäure: dieselben Organismen wirkten also oxydirend und reducirend. Dieselben Erscheinungen machten sich geltend, wenn Gartenerde mit frischem Dünger versetzt wurde. Durch diesen wurde in der stark nitrificirenden Erde die Salpeterbildung aufgehoben und eine Reduction der vorhandenen Nitrate und Nitrite unter Bildung von Ammoniak veranlasst. Später stellte sich die Nitrification wieder ein und zwar genau nach Beendigung der Bildung des Ammoniaks.

In Betreff der Erklärung dieses auffallenden Functionswechsels der nitrificirenden Organismen bei Zusatz von organischen Nährmitteln sei angeführt, dass *Leone* sich denkt, in Folge der üppigen Entwickelung der Keime werden die durch sie veranlassten Oxydationen so intensiv, dass der vorhandene Sauerstoff hierzu nicht ausreicht und der Salpetersäure und der salpetrigen Säure entnommen werden muss.

Die Denitrification ist neuerdings von *R. Burri* und *A. Stutzer*[2]) eingehender untersucht worden. Dieselben wiederholten zunächst einen von *P. Wagner*[3]) angestellten Versuch, welcher ergab, dass Pferdefaeces eine Salpeterzerstörung veranlassen. In einem Gemisch von Wasser (100 gr) mit Pferdefaeces (5 gr) und Natriumnitrat (0,32 gr) tritt bei 30° C. meist nach 24 Stunden eine mit Schaumbildung verbundene Gährung ein, und nach einigen Tagen ist sämmtlicher Salpeter verschwunden. Das Gas, welches sich hierbei entwickelt, ist freier Stickstoff. Wird statt des Salpeters salpetrigsaures Natron verwendet, so geht die Zersetzung (des Nitrites) ungleich langsamer vor sich. In einer Mischung, welche nur aus Pferdefaeces und Wasser hergestellt wird, erfolgt keine Gährung; dieselbe tritt jedoch sofort ein, wenn Natriumnitrat zugesetzt wird. Durch Kochen der Mischungen wird der Gährungsprocess nicht unterdrückt, wenngleich etwas eingeschränkt, woraus zu schliessen ist, dass die Gährungserreger zu den sporenbildenden oder sonst sehr widerstandsfähigen Arten gehören. Es gelang genannten Forschern zwei Bacterienarten zu isoliren, unter deren gleichzeitiger Einwirkung sich die Reduction des Salpeters voll-

[1]) Gazetta chimica italiana. T. X. p. 505. — Atti della R. Accademia dei Lincei. Rendiconti. Ser. 4. Vol. VI. p. 33.

[2]) *R. Burri* und *A. Stutzer*. Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde. Zweite Abtheilung. Bd. I. 1895. Nr. 7/8. S. 257. — Nr. 9/10. S. 350. — Nr. 11. S. 392. — Nr. 12. S. 422.

[3]) *P. Wagner*. Deutsche landwirthschaftliche Presse. 1895. Nr. 14. S. 123.

zieht. Dass die beiden Bacterienarten (a und x) in einem symbiotischen Verhältniss zu einander stehen, wurde in folgender Weise nachgewiesen.

Spuren von a wurden in ein Gefäss mit Nitratbouillon, ebenso Spuren von x in ein anderes Gefäss mit gleichem Inhalt gesäet, worauf beide Gefässe während mehrerer Tage einer Temperatur von 30° C. ausgesetzt wurden. Die Flüssigkeiten trübten sich zwar unter solchen Umständen, entwickelten aber kein Gas. Sobald jedoch beide Flüssigkeiten unter Vermeidung jeder Verunreinigung zusammengegossen wurden, trat in 12 bis 24 Stunden in der Mischung lebhafte Gasentwickelung mit Schaumbildung ein.

In einem anderen Versuch wurde auf einer Agarplatte eine Strichcultur von a erzeugt und diese mit einer solchen von x gekreuzt, nach eingetretenem Wachsthum wurde von der Ausgangsstelle des einen Striches und von der Ausgangsstelle des anderen Striches, sowie von der Kreuzungsstelle beider Material auf Nitratbouillon übertragen. Nur in letzterem Falle wurde Schaumbildung hervorgerufen.

Aus solchen wie den vorstehenden Erscheinungen muss gefolgert werden, dass die Nitratzersetzung bei Gegenwart von Pferdefaeces auf einem symbiotischen Vorgang[1]) beruht. Bei weiterer Verfolgung der betreffenden Erscheinungen stellte sich heraus, dass x nicht durch einen anderen Organismus ersetzt werden konnte, dass dagegen für a eine im Laboratorium seit lange gezüchtete Cultur von Bacterium coli commune verwendet werden konnte, ohne dass sich in Bezug auf den Verlauf der Gährung eine Aenderung zeigte. Ebenso verhielt sich der Typhusbacillus, der mit x die Salpetergährung vollständig durchführte.

Die nähere Beschreibung des mit a bezeichneten Organismus lehrt nun, dass derselbe in allen Eigenschaften, ausser in der lebhaften Bewegung von Individuen aus jungen Plattenculturen, mit dem Bacterium coli commune völlig übereinstimmt. Jene Bewegung allein genügt nicht, die beiden Bacterien von einander zu trennen. Indem die Frage, ob bisher eine ganze Reihe verschiedener Arten irrthümlich unter dem Namen B. coli zusammengefasst worden sei, oder die von verschiedenen Seiten betonte starke Variabilität des B. coli wirklich bestehe, von genannten Forschern unentschieden gelassen wird, kommen dieselben zu dem Schluss, dass Bacterium coli commune, das bisher schon in mehrfachem Sinne als gährungserregend bekannt war, auch die Fähigkeit besitzt, in Symbiose mit gewissen anderen Bacterien grössere Mengen von Nitraten unter Abspaltung freien Stickstoffs vollständig zu zerstören.

Die oben mit x bezeichnete Bacterienart, welche gemeinschaftlich mit Bacterium coli oder mit dem Typhusbacillus, ev. mit noch anderen Arten beträchtliche Mengen von Nitraten oder Nitriten in der geschilderten Weise zu zersetzen vermag, wird von *Burri* mit dem Namen Bacillus denitrificans I bezeichnet, nachdem dieser Organismus mit keinem schon von anderer Seite beschriebenen identificirt werden konnte. Nach den bei den Reinculturen gemachten Beobachtungen gehört B. denitrificans I zu den obligat aëroben Bacterien, während B. coli facultativ anaërob ist. Inwieweit dieses Verhalten beider Arten auch bei Gährungen unter verschiedenem Luftzutritt zum Ausdruck kommt, lehren folgende, von bezeichneten Forschern erhaltene Versuchsresultate.

---

[1]) Unter Symbiose versteht man die in der Natur weit verbreitete Erscheinung des Zusammenlebens ungleicher Organismen.

In Nitratbouillon, welche mit Bacterium coli und Bacillus denitrificans angesäet und durch welche zur Verdrängung der Luft Wasserstoff 15 Minuten lang durchgeleitet worden war, fand keine Entbindung von freiem Stickstoff statt. Dagegen verschwand unter solchen Umständen der Nitratstickstoff vollständig und fand sich grösstentheils als Nitritstickstoff, in geringerer Menge als Ammoniakstickstoff wieder.

In dem Falle, wo das Experiment nicht in einem geschlossenen, sondern in einem offenen Gefäss und an freier Luft bei übrigens gleicher Anordnung ausgeführt wurde, trat eine kräftige Gährung unter Abspaltung freien Stickstoffs ein. Hierbei wurde die Beobachtung gemacht, dass nicht sämmtlicher Stickstoff des Nitrates in den elementaren Zustand übergeht, sondern ein Theil (ca. 20 %) als organischer Stickstoff in der Nährlösung zurückbleibt. Offenbar sind die Versuchsbedingungen unter den zuletzt angeführten Verhältnissen derart, dass von einem ergiebigen Luftzutritt füglich nicht die Rede sein und man nur von einem sehr beschränkten sprechen darf. Will man daher den in Kürze mitgetheilten Versuchsresultaten keinen Zwang anthun, so würde aus denselben nur gefolgert werden dürfen, dass Bacterium coli mit Bacillus denitrificans I gemeinschaftlich in nitrathaltigen Lösungen einen Reductionsprocess hervorrufen, der sich bei vollständigem Abschluss der Luft nur bis zur Nitritbildung erstreckt, bei sehr beschränktem Luftzutritt aber eine soweit gehende Zerstörung der Nitrate zur Folge hat, dass der grösste Theil des in letzteren enthaltenen Stickstoffs in den freien Zustand übergeführt wird. In Bezug auf die Luftzufuhr würden also diese Vorgänge unter solchen Bedingungen verlaufen, welche jenen der Fäulniss entsprechen.

Wenn aber von *Burri* und *Stutzer* aus solchen wie den angegebenen Versuchen die Schlussfolgerung abgeleitet wird, dass die beiden Bacterien auch bei reichlichem Luftzutritt, also bei der Verwesung überhaupt und speciell in einem gut durchlüfteten Boden Veranlassung zu Salpetergährung unter Entweichen freien Stickstoffs gäben, so erscheint dies unzulässig, insofern die Thatsachen eine derartige Gesetzmässigkeit nach keiner Richtung erkennen lassen und ein directer Beweis nicht erbracht wird. Der Umstand, dass sich B. denitrificans I bei Plattenculturen als obligat aërob erwiesen hat, kann nicht als Beleg herangezogen werden, weil verschiedene Organismen sich der Luft gegenüber sehr verschieden verhalten und der in Rede stehende Bacillus, wenn er obligat aërob wäre, bei sehr beschränktem Luftzutritt keine Salpetergährung hervorrufen könnte.

Im Uebrigen erscheint es aber im hohen Grade unwahrscheinlich, dass ein Reductionsprocess, der sonst, soweit er von der Thätigkeit niederer Organismen beherrscht wird, nur bei beschränktem oder vollständig gehindertem Sauerstoffzutritt vor sich geht, unter Bedingungen stattfinden sollte, welche nach allen vorliegenden Beobachtungen nur Oxydationserscheinungen veranlassen. Man müsste auch, wenn die letzterwähnte Schlussfolgerung, welche *Burri* und *Stutzer* aus ihren Versuchen abgeleitet haben, richtig wäre, zu der Vorstellung gelangen, dass in gut durchlüfteten verwesenden Substanzen einerseits Organismen existiren, welche den Stickstoff zu Salpetersäure oxydiren, und dass andere Organismen quasi darauf warten, die letztere wieder zu zerstören. Eine derartige Vorstellung widerspricht nicht allein allen bisher über die Zersetzungsvorgänge gemachten Beobachtungen, sondern auch verschiedenen Thatsachen. Zu letzteren gehört die starke Ansammlung von Nitraten in organischen stickstoffhaltigen Substanzen (Compost, untergebrachter Stall- und Grün-

dünger) bei reichlicher Luftzufuhr; ferner die Uebereinstimmung der Stickstoffmengen in den Nitraten der Drainwässer mit denjenigen in dem Ammoniak der zugeführten Spüljauche auf Rieselfeldern (S. 4). Weiteres würde hierher zu rechnen sein die Beobachtung, dass bei der Zersetzung des Stalldüngers gerade in denjenigen Fällen, wo mit Zuhilfenahme gewisser Conservirungsmittel grössere Mengen von Nitraten in demselben gebildet werden, keine oder doch nur minimale Stickstoffverluste constatirt werden. Diese Thatsachen dürften wohl genügen, die Behauptung zu begründen, dass die Annahme einer Nitratzerstörung bei reichlicher Luftzufuhr durch die oben näher bezeichneten Organismen unbegründet erscheint, oder dass, falls weitere Versuche unter gewissen Umständen die Existenz eines derartigen Processes etwa nachweisen sollten, doch der Betrag der bezüglichen Wirkungen kein irgendwie in Betracht kommender sein kann.

Die Entbindung elementaren Stickstoffs aus den vorhandenen Nitraten bei vollständigem Luftabschluss wird durch einen Bacillus hervorgerufen, welcher bereits von *E. Bréal*[1]) auf altem Stroh gefunden, nunmehr aber von *R. Burri* und *A. Stutzer*[2]) isolirt und näher untersucht wurde. Es gelang, aus dem Stroh einer alten Flaschenumhüllung einen Bacillus zu erziehen, welcher sowohl bei Abschluss von Sauerstoff, als auch bei freiem Zutritt desselben gedeiht, in letzterem Falle jedoch keine Gährwirkung ausübt. Derselbe kommt auch auf anderen Pflanzenabfällen verschiedener Art vor, wie auch im Erdboden. Dafür sprechen auch einige Versuche von *H. B. Gibson*[3]), welcher fand, dass Fleisch, welchem ein Tropfen einer sehr verdünnten Emulsion von faulendem Fleisch zugesetzt worden war, bei der Zersetzung durchschnittlich nur 2,1% an Stickstoff einbüsste, dagegen auf Zusatz von Bodenextract im Mittel 12,1% Stickstoff verlor. Der in Rede stehende Bacillus, als B. denitrificans II bezeichnet, bedingt hauptsächlich die Zerstörung der Nitrate bei allen Zersetzungsprocessen, welche sich unter dem Abschluss der atmosphärischen Luft vollziehen.

Bei der **Ammoniakgährung** des Harnstoffs wird der ursprüglich klare Harn getrübt, und zwar, wie die Untersuchung lehrt, durch niedere Organismen, unter welchen allerlei Pilze und Bacterien auftreten können. Zunächst wurde der Micrococcus Ureae *Cohn* als der Erreger der Gährung aufgefunden. *Pasteur* hat zuerst gezeigt, dass dieser Micrococcus, rein erzogen und in reinen Harnstoff enthaltender Nährlösung cultivirt, hier die gleiche Zersetzung wie im Harn hervorruft. Mit diesem Mikroben scheint der von *Leube* entdeckte M. Ureae identisch zu sein. Von *Flügge* wurde ein anderer Coccus aus zersetztem Harn isolirt, der wie der vorige energisch Harnstoff vergährt, aber gewisse Culturdifferenzen zeigt, nämlich Micrococcus Ureae liquefaciens. *Leube* fand dann noch in altem Harn Bacillus Ureae, welcher den Harnstoff noch energischer in kohlensaures Ammoniak verwandeln soll als Micrococcus Ureae. Derselbe Forscher konnte noch von zwei anderweitigen Bacillen und von einer Sarcina energisches Hydratisationsvermögen gegenüber dem Harnstoff constatiren.

P. Miquel fand, dass neben den Mikrococcen auch gewissen Stäbchenbacterien und sogar Schimmelpilzen die Fähigkeit, energische ammoniakalische Gährungen her-

[1]) *E. Bréal.* Annales agronomiques. T. XVIII. Nr. 4. p. 181.

[2]) *R. Burri* und *A. Stutzer.* a. a. O.

[3]) *H. B. Gibson.* Ueber die Entbindung freien Stickstoffs bei der Fäulniss. Inaugural-Dissertation. Baltimore. 1893. (Englisch.)

vorzurufen, beizumessen ist, und giebt eine kurze Beschreibung eines von ihm gefundenen Bacillus, der als B. Duclauxii oder B. ureae β bezeichnet wird.

In sehr eingehender Weise haben sich in neuer Zeit *R. Burri* und *A. Stutzer*[1]) mit der Isolirung der die Ammoniakgährung des Harnstoffs hervorrufenden niederen Organismen beschäftigt. Sie gelangten hierbei zu dem interessanten Resultat, dass diese nicht allein in der Luft, sondern auch in beträchtlicher Menge im Torfmull vorkommen. Nach den vorgenommenen Reinculturen werden von genannten Forschern drei Stäbchenbacterien unterschieden, welche, abgesehen von den morphologischen Merkmalen, wie folgt charakterisirt werden:

	B. ureae I.	B. ureae II.	B. ureae III.
Gährungsvermögen:	mässig	stark	stark
Harnstoffgelatine:	verflüssigend	nicht verflüssigend	verflüssigend
Beweglichkeit:	vorhanden	nicht vorhanden	vorhanden.

Diese Ammoniakbacterien gehören zu den Arten, welche sich bei Gegenwart von viel freiem Alkali vermehren können. In neutralem und noch mehr in saurem Nährsubstrat zeigen sie kein Wachsthum und bewirken sie unter solchen Umständen auch keine Hydratisation. Sie gehen aber dabei nicht zu Grunde und können sich jahrelang lebenskräftig erhalten; wenigstens gilt dies für die sporenbildenden Formen (B. ureae II und III). Damit erklärt sich in einfacher Weise das Vorkommen der Ammoniakbacterien in dem sauer reagirenden Torfmull.

Die **Schwefelbacterien,** zu welchen nach den Untersuchungen von *S. Winogradsky*[2]) hauptsächlich Beggiatoa alba *Vauch.*, B. roseo-persicina, *Zopf* (Clathrocystis roseo-persicina, *Cohn*) Sarcina sulfurata nov. spec., Ophidomonas sanguinea, Monas Okenii, M. vinosa *Ehr.* und noch einige andere Organismen zu rechnen sind, veranlassen durch Oxydation die Abscheidung von Schwefel aus Schwefelwasserstoff. *Winogradsky* stellte fest, dass der mit Schwefelwasserstoffzersetzung begonnene Oxydationsvorgang sich in den Zellen fortsetzt, indem der daselbst ausgeschiedene Schwefel sich weiter oxydirt und zwar zu Schwefelsäure. Es gelang durch mikrochemische Reactionen, die Schwefelsäure nicht nur qualitativ, sondern annähernd quantitativ nachzuweisen. Durch die von den lebenden Bacterien ausgeschiedene Schwefelsäure werden die im Wasser enthaltenen kohlensauren Salze in Sulfate verwandelt.

Genannter Forscher glaubt, dass der Oxydationsprocess in den Schwefelbacterien der Athmung entspricht, und dass der Schwefel in ihnen dieselbe Rolle spielt, wie etwa die Kohlehydrate bei anderen Pflanzen. Durch die Verbrennung des Schwefels gewinnen diese Bacterien die Energie, welche zur Erhaltung des Lebensprocesses nothwendig ist. So ist es ihnen möglich, mit einer sehr geringen Menge organischer Stoffe auszukommen, denn alle kohlenstoffhaltigen Substanzen dienen ihnen ausschliesslich zum Aufbau des Körpers, während sie bei anderen Pflanzen zum grössten Theil wieder verathmet werden. Die organischen Stoffe, deren die Schwefelbacterien zum Wachsthum bedürfen, brauchen daher auch nicht „gute Nährstoffe“ zu sein, d. h. Verbindungen, bei deren Zerfall oder Verbrennung viel Wärme frei wird; es

---

[1]) *R. Burri* und *A. Stutzer.* Journal für Landwirthschaft. 42. Jahrgang. 1894. S. 338.

[2]) *S. Winogradsky.* Botanische Zeitung. 1887. Nr. 31—37.

genügen ihnen Stoffe, wie Ameisensäure und Propionsäure, mit denen andere Organismen nichts anfangen können.

Die Schwefelwasserstoffentwickelung selbst, welche bei der Fäulniss organischer Stoffe durch Reduction der Natrium- und Calciumsulfate bei Gegenwart von Sumpfgas in statu nascendi stattfindet (S. 18), ist nach *Winogradsky* von den Beggiatoen unabhängig.

Die Thätigkeit der sogen. „**Eisenbacterien**" ist von *S. Winogradsky*[1]) ebenfalls näher untersucht worden. Dieselben sind hauptsächlich durch Cladothrix dichotoma, *Cohn* (Leptothrix ochracea, *Kützing*) und Crenothrix Kühniana, *Rabenhorst* repräsentirt. Diese Organismen sind befähigt, das Eisenoxydul zu oxydiren und aus der kohlensauren Verbindung desselben Eisenoxydhydrat abzuscheiden.

Höchst merkwürdigerweise ist andererseits die Zufuhr von Eisenoxydul für das Wachsthum der Cladothrix-Fäden unerlässlich. Während sie in eisenoxydulhaltigem, zwei- bis dreimal täglich frisch zugeführtem Wasser sich sehr üppig vermehren, wachsen sie nicht weiter, wenn man das Wasser vorher einige Zeit an der Luft stehen lässt, so dass es oxydulfrei geworden ist. Das von der wachsenden Cladothrix begierig aufgenommene Eisenoxydul wird im Protoplasma derselben oxydirt und wahrscheinlich in einer löslichen Eisenoxydverbindung an die die Zelle umgebende Gallerthülle abgegeben, welche das Salz festhält; hier kann es anfangs leicht durch Wasser ausgewaschen werden, selbst nach 24 Stunden nach dem Ablagern; später jedoch ändert sich das Eisenoxyd, es wird schwer und schliesslich gar nicht löslich.

Mit der untersuchten Cladothrix stimmen die übrigen Eisenbacterien in ihren Eigenthümlichkeiten im Wesentlichen überein.

Wir haben es hier also mit einer physiologischen Eigenthümlichkeit einer bestimmten Klasse von Bacterien zu thun, welche *Winogradsky* aus diesem Grunde unter der Bezeichnung „Eisenbacterien" zusammenfasst. Diese Eigenthümlichkeit erlangt eine höhere Bedeutung durch die Analogie mit den Schwefelbacterien. In beiden Fällen wird eine oxydirbare Substanz von den Zellen aufgenommen, im Plasma derselben bis zur höchsten Oxydationsstufe oxydirt und dann ausgeschieden. Weder Schwefel noch Eisen dienen zum Aufbau dieser Organismen, vielmehr werden sie nach erfolgter chemischer Umwandlung von den Zellen wieder ausgeschieden. Dabei ist die Menge der chemisch umgewandelten Substanz im Verhältniss zu der der gleichzeitig assimilirten Stoffe eine sehr grosse. Da die Eisenbacterien nur so lange wachsen, als die Oxydation des Eisenoxyduls in ihren Zellen sich abspielt, hält *Winogradsky* den Schluss für gerechtfertigt, dass die Lebensprocesse dieser Organismen hauptsächlich oder ausschliesslich auf Kosten der bei der Oxydation von Eisenoxydul zu Eisenoxyd frei werdenden Wärme (actuelle Energie) im Gang erhalten werden.

Aus den im Bisherigen mitgetheilten Thatsachen wird, so unvollkommen sie auch in vielfacher Beziehung noch sind, doch mit Sicherheit die Schlussfolgerung abgeleitet werden können, dass die bei dem Zerfall der organischen Substanzen vor sich gehenden chemischen Processe durch die Thätigkeit einer Reihe von Mikroorganismen vermittelt werden. Die Zerlegungen erfolgen sowohl im lebenden Protoplasma, als auch unter Einwirkung von Stoffwechselproducten, welche in Form von Fermenten von den

[1]) *S. Winogradsky.* Botanische Zeitung. 1888. Nr. 17.

Organismen ausgeschieden werden (siehe Capitel VI). Im Uebrigen dürfte aus der kurzen Uebersicht über die einschlägigen Versuchsergebnisse hervorgehen, dass aller Wahrscheinlichkeit nach die einzelnen Processe des Zerfalls nicht an das Auftreten und die Vermehrung bestimmter Organismen geknüpft sind, sondern, mehrentheils wenigstens, durch verschiedene Arten hervorgerufen werden können. Ebenso erscheint die Annahme gerechtfertigt, dass unter gewissen Umständen die Wirkungsweise mancher Organismen je nach äusseren Bedingungen eine verschiedene sein kann. In der Mehrzahl der Fälle wird die Zersetzung durch sämmtliche Phasen nicht von einer bestimmten Species hervorgerufen, sondern die Spaltung wird von gewissen Organismen nur bis zu einer bestimmten Grenze bewirkt, von welcher ab andere Organismen die Weiterführung des Entmischungsprocesses übernehmen u. s. f.

Unter den verschiedenen Mikroorganismen, welche sich an dem Zerfall der organischen Stoffe betheiligen, kommen vornehmlich die Schimmel- und die Spaltpilze in Betracht, während die Hefepilze von untergeordneter Bedeutung sind, insofern die von denselben verursachten Processe in der Natur sich nur in einem geringen Umfange vollziehen können. Bei saurer Reaction des Nährsubstrates wird die Verwesung vorwiegend durch Schimmelpilze veranlasst, die ein ganz ausserordentliches Vermögen haben, Oxydationen herbeizuführen. An ihre Stelle treten die Spaltpilze, sobald das im Zerfall befindliche Material eine alkalische Reaction besitzt. An den Fäulnissprocessen und einer Reihe von Gährungserscheinungen, die sich bei Luftabschluss vollziehen, dürften die Spaltpilze, wenn auch nicht ausschliesslich, so doch hauptsächlich betheiligt sein.

Im Gegensatz zu den Parasiten, welche nur auf und in lebenden höheren Organismen wachsen, gedeihen sämmtliche hier in Betracht kommende Lebewesen nur auf todtem Substrat; sie werden seit 1866 als **Saprophyten** bezeichnet.

III. Die Betheiligung von Thieren an der Zersetzung der organischen Stoffe.

An der Zersetzung der organischen Substanzen sind ohne Zweifel zahlreiche Thierarten betheiligt, die überall, wo solche Stoffe in grösserer Menge vorhanden sind (Erde, Schlamm, Moor, Streu, Dünger u. s. w.), in mehr oder weniger grosser Zahl, häufig massenhaft aufzutreten pflegen. Es gehören dahin Rhizopoden, Anguillulinen (Ordnung: Nematodes), Lumbricini (Regenwürmer), Krustenthiere, Schnecken, Myriopoden (Tausendfüssler) mit Vertretern der Gattungen Julus, Polydesmus, Scolopendra, Geophilus, verschiedene Insecten, bezw. deren Larven.

Die Thätigkeit dieser Thiere beruht besonders darauf, dass sie die abgestorbenen pflanzlichen und thierischen Reste zerkleinern, als Nahrung aufnehmen, und weiterhin ihre Excremente, in welchen bereits eine theilweise chemische Veränderung der organischen Stoffe eingeleitet und erfolgt ist, absetzen. Die Einwirkung der Thierwelt in dieser Richtung ist eine äusserst wechselnde, je nach localen Verhältnissen; unter Umständen kann sie eine sehr beträchtliche, in anderen Fällen eine sehr unbedeutende sein.

Die Zerkleinerung des Materials durch die Thiere scheint, soweit sich dies aus den spärlichen hierüber vorliegenden Untersuchungen ermessen lässt, von untergeordneter Bedeutung zu sein. Um festzustellen, welchen Einfluss die Pulverisation der vegetabilischen Ueberreste durch Thiere auf die Zersetzung auszuüben vermag,

liess *P. Kostytscheff*[1]) bei zwei Portionen von Blättern verschiedener Art (Eichen-, Ahorn- und Birkenblätter), welche in Schalen der Verwesung ausgesetzt waren, die eine durch Regenwürmer zernagen und brachte beide nach Umfluss eines Monats in besondere Röhren, um die frei werdende Kohlensäure zu bestimmen. Dieselbe betrug (für 75 gr trockenen Materials):

	Zernagte Blätter.	Nicht zernagte Blätter.
Gesammtmenge während 8 Tagen:	0,9384 gr	0,8338 gr.

In einem zweiten Versuch liess *Kostytscheff* fedriges Pfriemengras (Stipa pennata) von Sciara-Larven zernagen. Die aus 75 gr trockener Masse entwickelte Kohlensäuremenge betrug:

	Zernagtes Pfriemengras.	Nicht zernagtes Pfriemengras.
Täglicher Durchschnitt:	0,1686 gr	0,1698 gr.

In Versuchen mit Eichenlaub (60 gr), von Julus terrestris zernagt, sowie im unzerkleinerten Zustande, entwickelten:

	Zernagte Eichenblätter.	Nicht zernagte Eichenblätter.
Kohlensäure:	0,663 gr	0,638 gr.

Die Pulverisirung der Blätter übte mithin nur einen schwachen Einfluss auf die Zersetzung der organischen Stoffe aus.

Genauer sind die Veränderungen bekannt, welchen die organischen Stoffe unterliegen, wenn sie den Verdauungsapparat der im Boden vorkommenden Thiere, besonders der Regenwürmer, passiren. Die Nahrung dieser Thiere besteht aus vegetabilischen und animalischen Stoffen, sowie aus Erde[2]). Die Verdauungsflüssigkeit der Würmer ist von derselben Natur wie das Secret der Bauchspeicheldrüse der höheren Thiere und vermag, wie dieses, Fette zu emulgiren, Eiweissstoffe zu lösen, Stärke in Zucker überzuführen und auch Cellulose anzugreifen. Es wird daher a priori geschlossen werden dürfen, dass die von den Würmern aufgenommenen organischen Stoffe bei dem Durchgang durch den Verdauungsapparat mannigfache chemische Veränderungen erleiden, welche bedingen, dass sie nach dem Verlassen des Thierkörpers leichter zersetzbar sind als vorher. Um dies nachzuweisen, wurden vom Verfasser folgende Versuche ausgeführt.

Humusreiche kalkhaltige Erde, welche während eines Zeitraumes von 6 Monaten theils mit Regenwürmern besetzt gewesen, theils von denselben befreit worden war, wurde durch Siebe von 2 mm Maschenweite von den beigemengten Ernterückständen befreit. Ein zweiter Versuch wurde ebenfalls mit humusreicher Ackererde ausgeführt, die nach sorgfältiger Mischung in zwei Portionen von je 1000 gr gebracht und in Bechergläser gefüllt wurde. In das eine derselben wurden 10 Regenwürmer eingeführt. Die Erde verblieb ein Vierteljahr in den Gläsern und wurde derart nach Bedarf mit destillirtem Wasser angefeuchtet, dass der Wassergehalt in den beiden Gefässen sich auf gleicher Höhe erhielt. Im Herbst wurden sämmtliche Proben, nach

---

[1]) Annales agronomiques. T. XVII. 1891. p. 17—38.

[2]) *Ch. Darwin.* Die Bildung der Ackererde durch die Thätigkeit der Würmer. Stuttgart. 1882. — Vergl. ferner: *V. Hensen.* Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 28. Bd. 1877. S. 361 und Landw. Jahrbücher. Von *H. Thiel.* Bd. XI. 1882.

Entfernung der Regenwürmer, an der Sonne getrocknet und alsbald auf Zersetzbarkeit der organischen Substanzen und Gehalt an löslichen Pflanzennährstoffen untersucht[1]).

Ersteren Punkt anlangend, wurde in der Weise verfahren, dass je 150 gr lufttrockenen Bodens mit 34 gr destillirtem Wasser durchfeuchtet und in U-förmige Röhren gefüllt wurden. Diese wurden alsdann in ein Wasserbad gestellt, dessen Temperatur constant auf 30° C. mittelst eines *Soxhlet*'schen Thermostaten erhalten wurde. Die in dem Boden sich bildende Kohlensäure, deren Menge unter den vorliegenden Versuchsbedingungen als Maass für die Zersetzungsfähigkeit der organischen Stoffe dienen konnte, wurde nach dem *v. Pettenkofer*'schen Verfahren bestimmt. Hierbei ergaben sich folgende Resultate:

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.			
	Versuch I. Ackererde		Versuch II. Ackererde	
	mit Würmern	ohne Würmer	mit Würmern	ohne Würmer
A. Vom 7.—16. Novbr. (Mittel v. acht Versuchen)	5,43	3,88	8,04	3,08
B. „ 19.—28. „ (Mittel v. neun Versuchen)	3,07	2,52	5,61	1,90.

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass die Kohlensäureentwickelung in dem wurmhaltigen Boden eine wesentlich intensivere ist als in dem wurmfreien. Dies beruht offenbar darauf, dass die organischen Stoffe in ersterem leichter der Zersetzung unterliegen als in letzterem. Es wird hieraus ohne Weiteres geschlossen werden dürfen, dass die Menge der bei dem Zerfall sich bildenden Pflanzennährstoffe in der mit Würmern besetzten Erde grösser sein wird, als in demselben Boden bei Abwesenheit von Würmern.

Bei der Ermittelung der löslichen Bestandtheile im Boden wurden je 500 gr des Materials mit 2 Litern sorgfältig gereinigtem destillirten Wasser übergossen, welchem, um etwaige weiterhin eintretende Veränderungen der stickstoffhaltigen Bestandtheile (Ammoniak, Salpetersäure) zu verhindern, eine geringe Menge von Quecksilberchlorid zugeführt wurde. Die in dieser Weise behandelten Erdproben blieben 14 Tage an einem mässig warmen Orte stehen und wurden öfter umgeschüttelt. Die hierauf abgehobene klare Flüssigkeit wurde in zwei Portionen getheilt, von welchen die eine zur Bestimmung des Ammoniaks und der Salpetersäure, die andere zur Feststellung der löslichen Mineralstoffe diente.

Die genannten Stickstoffverbindungen wurden nach der von *W. Williams*[2]) angegebenen Methode, die mineralischen Stoffe durch Verdampfen des Bodenauszuges und Glühen des Rückstandes bestimmt. Bei ersterer Methode wird die Flüssigkeit mit etwas Magnesia in einer Retorte gekocht, bis 250 ccm überdestillirt sind. In dem Destillat wird das Ammoniak mittelst titrirter Schwefelsäurelösung ermittelt. Der Rückstand wird verdünnt und in eine weithalsige zugestöpselte Flasche gebracht, welche in einem Warmbade von 21—24° C. während drei Tagen verbleibt, und in welcher die Reduction der Nitrate und Nitrite mittelst einer Kupferzinkkette erfolgt. Letztere besteht aus sechs Streifen Zinkfolie, 10 cm lang und 3,5 cm breit, auf welchen, nach Reinigung der Oberfläche, ein Kupferniederschlag durch Eintauchen in

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Von *E. Wollny*. Bd. XIII. 1890. S. 391—395.

[2]) Transactions. 1881. 100.

eine 3%ige Kupfersulfatlösung hervorgerufen wird. Die Zinkstreifen werden, nachdem sie mit destillirtem Wasser abgewaschen und getrocknet worden sind, in die mit dem Destillatrückstande gefüllte Flasche derart gelegt, dass sie vollständig untertauchen. Ein Theil der Flüssigkeit wird, nachdem dieselbe drei Tage einer Temperatur von 21—24° ausgesetzt gewesen war, destillirt. In dem Destillat wird dann das Ammoniak bestimmt.

Folgende Daten zeigen das Resultat der betreffenden Analysen (in Procenten des trockenen Bodens):

Versuchsmaterial.	Ammoniak. %	Salpetersäure. %	Stickstoff in Form von Ammoniak. %	Stickstoff in Form von Salpetersäure. %	Stickstoff in Form von Summa. %	Lösliche Mineralstoffe. %
A. Erde mit Regenwürmern	0,0200	0,0850	0,01647	0,02204	**0,03851**	**0,08672**
Erde ohne Regenwürmer	0,0036	0,1144	0,00285	0,02966	**0,03251**	**0,03267**
B. Erde mit Regenwürmern	0,0140	0,0250	0,01147	0,00648	**0,01795**	**0,15338**
Erde ohne Regenwürmer	0,0060	0,0440	0,00494	0,01141	**0,01635**	**0,03362**

Hiernach war die Menge der löslichen Stickstoffverbindungen und Mineralstoffe in der mit Würmern versehenen Erde grösser als in der wurmfreien. Erstere enthielt mehr Ammoniak, aber weniger Salpetersäure als letztere. Somit wäre durch diese Untersuchungen der Nachweis geliefert, dass durch die Thätigkeit der Regenwürmer der Reichthum des Bodens an assimilirbaren Nährstoffen eine Erhöhung erfährt. Dies beruht jedenfalls darauf, dass die organischen Stoffe des Bodens bei dem Durchgange durch den Thierkörper, unter dem Einfluss der Verdauungssäfte Veränderungen erfahren, welche für deren Zerfall günstig sind. Der Betrag dieser Wirkungen dürfte unter übrigens gleichen Umständen in dem Falle grösser ausfallen, wo die Würmer Gelegenheit haben, sich ihre Nahrung aus abgestorbenen Pflanzentheilen (Blätter, Stengel, Wurzeln u. s. w.) zu verschaffen.

In zweiter Linie beeinflussen die Würmer die Fruchtbarkeit des Bodens dadurch, dass sie, abgesehen von der Anlegung zahlreicher Bohrlöcher, zur Lockerung und Krümelung desselben wesentlich beitragen. Um dies festzustellen, wurden vom Verfasser zwei cylindrische Gefässe aus Zinkblech von 8,6 cm Durchmesser und 4 cm Höhe mit feingesiebter feuchter humoser Ackererde gefüllt und dabei in das eine derselben fünf Regenwürmer gebracht. Nachdem die Bodenoberfläche geebnet worden war, wurde über jedes Gefäss ein ebensolches mit durchlöchertem Boden nach oben aufgesetzt, um theils die Verdunstung, theils das Herauskriechen der Regenwürmer hintanzuhalten. Nach Verlauf von sechs Wochen war die mit Würmern besetzte Erde nicht allein vollständig gekrümelt, sondern hatte auch ihr Volumen nicht unbeträchtlich vermehrt.

Ueber die stattgehabten Aenderungen geben folgende Daten Auskunft:

Erde	Durchmesser des Gefässes.	Höhe der Bodenschicht.	Bodenvolumen.	Volumzunahme absolut.	Volumzunahme procentisch.
mit Würmern	8,6 cm	5,1 cm	296,24 ccm	63,93 ccm	27,5 %.
ohne Würmer	8,6 „	4,0 „	232,34 „		

Behufs Bestimmung der Wasser- und Luftcapacität des Bodens wurden zwei Röhren von 5 cm Durchmesser und 35 cm Länge bis auf 30 cm Höhe mit gleichen

Gewichtsmengen feuchten Lehmes beschickt. In eine derselben wurden sechs Regenwürmer bei dem Einfüllen eingeführt. Nachdem die Röhren zwei Monate im Laboratorium gestanden hatten, zeigte sich der mit Würmern besetzte Boden von krümeliger Beschaffenheit. Ausserdem hatte derselbe eine Volumzunahme von 6,9% erfahren. Es wurde nun beiden Röhren von oben her Wasser zugeführt, bis aus dem, aus einem Drahtnetz bestehenden Boden Tropfen hervortraten. Die Wasserzufuhr wurde nunmehr sistirt, worauf die Röhren, bedeckt, 48 Stunden zum Zweck des Abflusses des überschüssigen Wassers ruhig stehen gelassen wurden. Hierauf wurde die Erde aus beiden Röhren, bei einer Höhe der Schicht von 30 cm herausgenommen, nach Entfernung der Regenwürmer gewogen, alsdann getrocknet und nochmals gewogen. Aus den betreffenden Wägungen liess sich, mit Hilfe des specifischen Gewichtes des Bodens, die Wasser- und Luftcapacität, resp. das Volumen des Erdreiches ermitteln. Die bezüglichen Daten stellten sich wie folgt:

Wassercapacität.	Boden mit Würmern.	Boden ohne Würmer.
Volumprocentisch	**28,69**	**48,13**
Gewichtsprocentisch . . .	21,36	29,89.

Volumen.	Boden mit Würmern.	Boden ohne Würmer.	Boden mit Würmern.	Boden ohne Würmer.
Luft	183,5 ccm	52,7 ccm	31,2 %	8,9 %
Boden . . .	236,5 „	252,8 „	40,2 „	42,9 „
Wasser . . .	169,0 „	283,5 „	28,6 „	48,2 „
Summa . . .	589,0 ccm	589,0 ccm	100,0 %	100,0 %.

Diese Zahlen vermitteln die Thatsache, dass in Folge der durch die Thätigkeit der Regenwürmer bewirkten Krümelung des Bodens die Wassercapacität vermindert, die Luftcapacität desselben dagegen erhöht wird.

In dem Betracht, dass durch die Krümelung des Bodens die sogen. nichtcapillaren Hohlräume in demselben vermehrt und erweitert werden, kann es nicht Wunder nehmen, dass die Durchlässigkeit für Luft und Wasser in dem wurmhaltigen Boden beträchtlich grösser ist als in dem wurmfreien. Um dies durch Zahlen zu belegen, wurden zwei 35 cm lange, unten durch ein feines Sieb verschlossene Blechröhren von 5 cm Durchmesser mit feuchtem humosen Kalksand gefüllt und in die eine derselben zehn Regenwürmer verbracht. Die Röhren blieben vom Mai bis October, durch eine aufgelegte Glasplatte oben verschlossen, aufrecht stehen. Im letzteren Monat wurde, bei einem Druck von 40 mm Wasser, Luft durch beide Röhren gepresst und das Volumen der Luft mittelst einer Gasuhr gemessen. Dabei stellte sich folgendes Resultat heraus:

Boden	Durchgegangene Luft (in Litern) pro Stunde. 1. Versuch.	2. Versuch.	Mittel.
mit Würmern . .	432,27	428,98	**430,62**
ohne Würmer . .	3,65	3,51	**3,58.**

In denselben Röhren wurde hernach der Boden auf seine Permeabilität für Wasser nach dem von *Welitschkowsky*[1]) angegebenen Verfahren geprüft. Bei einer constant erhaltenen Wasserschichte von 50 cm über dem Boden waren die betreffenden Unterschiede folgende:

[1]) Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik. Bd. X. 1887. S. 203.

Boden	In 10 Stunden geförderte Wassermenge.
mit Regenwürmern	74000 ccm.
ohne Regenwürmer	2930 ,,

Nach Beendigung des Versuchs wurden die Röhren entleert, wobei sich herausstellte, dass sämmtliche Regenwürmer, obwohl der Boden in der Zeit vom Mai bis October fast lufttrocken geworden war, sich noch am Leben befanden, eine Thatsache, welche in drastischer Weise für die Widerstandsfähigkeit der Würmer gegen ungünstige äussere Verhältnisse spricht.

Neben diesen Versuchen wurde noch ein solcher in derselben Anordnung mit Lehm ausgeführt. Die Durchlässigkeit für Luft bei einem Druck von 40 mm Wasser stellte sich wie folgt:

Boden	Durchgegangene Luftmenge (in Litern) pro Stunde.		
	1. Versuch.	2. Versuch.	Mittel.
mit Regenwürmern . . .	463,26	465,46	**464,51.**
ohne Regenwürmer . . .	180,53	183,39	**181,96.**

Aus den mitgetheilten Zahlen geht zur Evidenz hervor, dass der mechanische Zustand des Bodens durch die Thätigkeit der Würmer in einer für das Pflanzenwachsthum günstigen Weise abgeändert wird, und zwar dadurch, dass das Erdreich unter Mitwirkung der Würmer gekrümelt (gelockert) und für Luft und Wasser leichter durchdringbar wird. Die Bedeutung dieser Thatsachen tritt um so mehr hervor, wenn man berücksichtigt, dass gerade in denjenigen Localitäten, wo die Würmer in grösserer Zahl aufzutreten pflegen, nämlich in feuchteren Lagen, die erhöhte Luftzufuhr unter gleichzeitiger Verminderung der Wassercapacität des Bodens für die normale Zersetzung der organischen Substanzen (Verwesung) von grosser Wichtigkeit ist.

Viel umfangreicher als in der gemässigten Zone scheint die Einwirkung des Thierreiches auf die Zersetzung der organischen Stoffe, bezw. auf die Humusbildung in wärmeren Gebieten zu sein. So berichtet z. B. *C. Keller*[1]), dass in Madagaskar die Regenwürmer, und zwar Geophagus Darwinii, eine ganz ausserordentliche Thätigkeit entfalten, so dass nach seinen Berechnungen die von den Würmern herausgeworfene Erde jährlich in runder Summe 1 ½ Milliarden Cubikmeter beträgt. Auf der Insel Réunion war nach desselben Forschers Beobachtung die Arbeit der Regenwürmer nicht so auffällig wie auf Madagaskar; dagegen sollen dort die Juliden (Julus corallinus) einen grossen Antheil an der Humusbildung haben. In grossem Maassstabe wird übrigens in den Tropen der Humus schon über dem Boden vorbereitet, vorwiegend von Ameisen, welche die im Kampfe mit anderen Mitbewerbern um Luft und Licht untergegangenen Bäume befallen, in Mulm verwandeln und dadurch dem Boden wieder frische Nahrungsquellen liefern.

Den wesentlichsten Antheil an der Humusbildung auf den Korallenriffen und in der Strandzone gebührt nach *C. Keller* den Krebsen. In dem salzigen Wasser findet der Regenwurm nicht die Bedingungen seines Gedeihens.

Schliesslich darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch höhere Thiere, welche in der Erde leben, durch ihre wühlende und grabende Thätigkeit eine Lockerung des

[1]) *C. Keller.* Humusbildung und Bodencultur unter dem Einfluss thierischer Thätigkeit. Leipzig. 1887. — Ferner: *P. E. Müller.* Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin. 1887.

Bodens bewirken, welche einer intensiveren Zersetzung der in ihm enthaltenen organischen Substanzen wesentlich zu Statten kommt.

IV. Morphologie der Mikroorganismen der Zersetzungsvorgänge.

Die niederen Organismen, welche bisher in verwesenden und faulenden Pflanzen- und Thierresten gefunden wurden und die an den Zersetzungsvorgängen wenn auch nicht immer direct, so doch indirect betheiligt sind, werden am zweckmässigsten in drei Hauptabtheilungen gebracht, von denen die erste die Schimmelpilze (eigentliche Pilze, Fungi), die zweite die Sprosspilze (Hefepilze, Blastomyceten) und die dritte die Spaltpilze (Schizomyceten) umfasst[1]. Eine vierte Gruppe, die Schleimpilze (Mycetozoen oder Myxomyceten) ist für vorliegenden Gegenstand ohne besondere Bedeutung[2].

1. Schimmelpilze.

Die eigentlichen Pilze bestehen zunächst aus reichlich verzweigten feinen Fäden (Hyphae), welche theils in dem Substrat verbreitet sind, theils sich über dieses schräg aufsteigend erheben. Sie besitzen Cylinderform und sind durch Querwände in langgestreckte Glieder getheilt, von denen jedes eine Zelle bildet, an welchen eine zarte structurlose Membran und ein protoplasmatischer Inhalt erkennbar ist. Letzterer füllt den Zellraum entweder gleichmässig an oder ist von wässrig erfüllten Hohlräumen (Vacuolen) durchsetzt, um so reichlicher, je älter die Zelle ist. Das Wachsthum der Fäden erfolgt durch Spitzenwachsthum, indem die Spitze stetig vorrückt und in einiger Entfernung von ihr successive neue Querwände auftreten. Dies gilt sowohl von dem Hauptfaden, als auch von den Aesten und Zweigen, welche durch seitliche Aussackungen des ersteren entstehen. Die Gesammtheit der Fäden (Hyphen) bezeichnet man als Thallus der Pilze.

Die in dem Substrat verbreiteten Hyphen bilden die Nahrung aufnehmenden und verarbeitenden Organe des Pilzes und werden Mycelium genannt. Dieses ist entweder von flockiger Beschaffenheit oder bildet bei manchen Arten parenchymatische Lager oder fasrige Stränge, unter besonderen Umständen knollenähnliche fleischige Körper, die sogen. Sclerotien.

---

[1] Bei der Bearbeitung dieses Capitels wurden vom Verfasser hauptsächlich folgende Werke benutzt:

C. v. Nägeli. Die niederen Pilze. München. 1877.

A. de Bary. Vorlesungen über Bacterien. Leipzig. 1885.

A. de Bary. Vergleichende Morphologie und Biologie der Pilze, Mycetozoen und Bacterien. Leipzig. 1884.

O. Brefeld. Botanische Untersuchungen über Schimmelpilze. I—IV.

C. Flügge. Die Mikroorganismen. Leipzig. 1886.

W. Zopf. Die Spaltpilze. Leipzig. 1885.

W. Zopf. Die Pilze in morphologischer, physiologischer, biologischer und systematischer Beziehung. Breslau. 1890.

E. Kramer. Die Bacteriologie in ihren Beziehungen zur Landwirthschaft. Wien. 1890.

C. Fränkel. Grundriss der Bacterienkunde. Berlin. 1890.

C. Guenther. Einführung in das Studium der Bacteriologie. Leipzig. 1891.

J. Eisenberg. Bacteriologische Diagnostik. Hamburg und Leipzig. 1891. *L. Voss.*

[2] *A. de Bary.* Vergleichende Morphologie und Biologie der Pilze u. s. w. Leipzig. 1884. S. 453.

An den aus den oberflächlichen Hyphen des Myceliums hervorwachsenden Fäden, den Fruchtträgern oder Fruchthyphen, welche, wenn sie sehr zahlreich sind und dicht zusammengedrängt stehen, einen sogen. Fruchtkörper bilden, entwickeln sich die Fortpflanzungsorgane des Pilzes, die Sporen, und zwar in mannigfacher Weise. In Bezug hierauf, sowie hinsichtlich der Ausstreuung der Sporen unterscheidet man:

a. Intercalare Bildungen, bei welchen an den wachsenden Hyphen einzelne Zellen abgegrenzt werden, die eine etwas abweichende Gestalt annehmen und entweder zu Sporen oder Sporenmutterzellen werden. Diese Bildungen führen häufig die Bezeichnung „Gemmen".

b. Acrogene Abgliederungen sind solche, bei welchen die Fruchthyphen durch querwandige Theilung abgegrenzt werden und als Sporen fungiren. Die an den Enden der Fruchtträger (Basidien) bei manchen Arten entstehenden dünnen stielartigen Verzweigungen, welche die Sporen abschnüren, heissen Sterigmen. Entweder wird durch Quertheilung der Endzelle nur eine Spore abgegliedert, oder es werden nach einander mehrere Sporen abgeschnürt. Die Loslösung der Sporen erfolgt entweder durch Schwinden der Träger, oder durch Abschnürung, sowie durch Abschleuderung. Die auf diese Weise abgegliederten Sporen nennt man Basidiosporen, Acrosporen oder Conidien.

c. Endogene Sporenbildung findet statt, wenn die Sporen im Innern von Mutterzellen entstehen, deren Wand bis zur Reife als Sporangium oder Sporenbehälter persistirt. Letztere sind meist acrogene Zellen. Die Sporenbildung erfolgt in ihnen durch Theilung des Protoplasmas ohne Scheidewandbildung. Besitzen die Sporangien eine keulen- oder schlauchförmige Gestalt, so heissen sie Asci; in diesen entstehen in der Regel acht Ascosporen. Die Asci bilden sich oft am Grunde der Höhlung kleiner runder oder flaschenförmiger Fruchtkörper (Perithecien).

Die Entleerung der Sporen erfolgt entweder durch eine Oeffnung des Sporangiums, oder die Sporangienwand wird in ihrem grössten oberen Theile in eine im Wasser zerfliessliche Substanz verwandelt, oder es wird ein grosser Theil der Inhaltsflüssigkeit mit Gewalt aus einer Rissstelle unter Fortreissung der Sporen hervorgespritzt (Ejaculation).

d. Der Sporenbildung geht häufig eine Art geschlechtlicher Befruchtung voraus. Dieselbe besteht entweder in der sogen. Copulation, bei welcher zwei Hyphen mit je einer keulenförmigen Aussackung aneinander wachsen und nach Resorption der Zwischenwand eine Zygospore bilden, oder in der Erzeugung eines ausgeprägten männlichen und weiblichen Geschlechtsorganes. Letzteres (Oogonium) sitzt als kugelförmig angeschwollene Zelle einem Mycelfaden auf, ersteres (Antheridium) besteht aus einer länglichen, keulenförmig angeschwollenen Zelle, welche sich an das Oogonium anlegt und sich dann von seiner Hyphe abtrennt, oder einen Befruchtungsschlauch in das Innere des Oogoniums hineintreibt. Nach der Befruchtung bilden sich in letzterem kugelige, mit Cellulosemembranen versehene Sporen (Oosporen).

Die Sporen, welche gewöhnlich aus einfachen, zuweilen aber auch aus zusammengesetzten Zellen bestehen und eine verschiedene Gestalt (kugelig, oval, stäbchenförmig) besitzen, lassen an ihrer Membran eine äussere Schicht (Episporium) und eine innere Schicht (Endosporium) und einen, häufig Oeltröpfchen einschliessenden protoplasmatischen Inhalt erkennen. Sie dienen der Fortpflanzung des Pilzes, welche

sich in der Weise zunächst vollzieht, dass sie auf geeignetem Substrat einen oder mehrere Keimschläuche entwickeln, aus welchen dann weiterhin das Mycelium hervorgeht. Zuweilen wandelt sich aber auch die Spore zur Mutterzelle neuer Sporen (Sporangium) aus.

In Rücksicht auf den Zweck vorliegender Arbeit wird es genügen, wenn an dieser Stelle nur auf einige häufiger, namentlich im Boden und auf sich zersetzenden Pflanzen- und Thierresten vorkommende Schimmelpilze näher eingegangen wird[1]).

Mucor. Kopfschimmel.

Die Mucorarten sind sehr weit verbreitet und bilden auf verwesenden Substanzen weisse bis braune Schimmelrasen, welche aus einem stark verzweigten zarten Mycelium (Fig. 1. 3) und senkrecht aufsteigenden Fruchtträgern (3. b) bestehen, an deren Spitze sich ein kugelförmiges Sporangium (3. c u. 4.) befindet. Die basale Wand letzterer ist conisch oder kuppelförmig aufgetrieben und in dem Innenraum emporgewölbt; sie wird nach dieser Gestalt Columella genannt (4. b). Auf der äusseren Wand der Sporangien (4. c) ist eine Kruste von oxalsaurem Kalk abgeschieden, wodurch dieselbe stachelig erscheint. Bei der Sporenbildung (4. d) bleibt

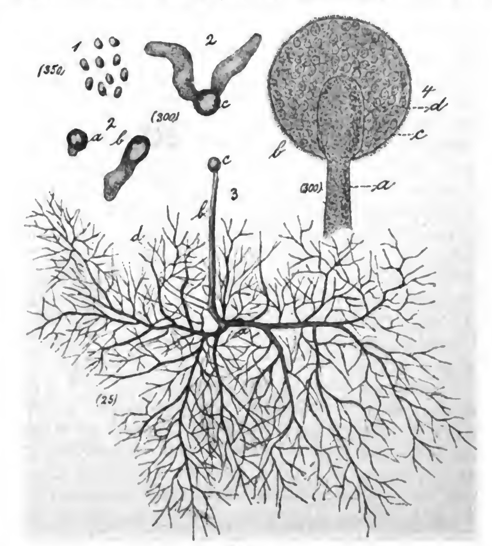


Fig. 1.

Mucor Mucedo L. (Nach *Brefeld*). 1. Sporen. 2. Keimung. a. Anschwellung der Spore. b. u. c. Austreten der Keimschläuche. 3. Mycelium aus Spore a gezogen. b. Entwickelter Fruchtträger mit Sporangium c. d. Unentwickelter Fruchtträger. 4. Fruchtträger a mit Sporangium. b. Columella. c. Sporangienmembran. d. Anlage der Sporen.

[1]) Die den Abbildungen in Klammern beigesetzten Zahlen geben die lineare Vergrösserung an.

ein Theil des Plasmas unverbraucht und wird in der Folge zur sogen. Zwischensubstanz, d. h. in eine im Wasser stark quellungsfähige Masse umgewandelt. Die von der Kalkkruste umhüllte Wand des Sporangiums besteht aus einer Cellulosemodification, welche ebenfalls in Wasser stark aufquillt und im Verein mit der Zwischensubstanz die Kalkkruste sprengt und die Sporen hinausbefördert. Bei manchen Arten hat man am Mycel, selbst an den Sporangienträgern, Gemmenbildung constatirt. Diese tritt gewöhnlich bei Erschöpfung des Substrates ein. In Zuckerlösungen entwickeln die Sporen gewisser Arten Sprossmycelien von hefeartigem Ansehen (M. racemosus, circinelloides, erectus, spinosus, fragilis, Mucedo).

M. Mucedo L. (Fig. 1) ist einer der verbreitetsten Schimmelpilze und kommt auf allen möglichen eiweissreichen Substanzen vor. Die farblosen Fruchthyphen 1—13 cm lang. Sporangien gelbbraun bis schwarz. Membran glatt oder eng mit Stacheln von oxalsaurem Kalk besetzt. Sporen ellipsoidisch, mit sculpturloser hyaliner Membran und gelblichem Inhalt, 7—11 mikrom. lang, 4—6 mikrom. breit.

Im Mist treten, nach *Brefeld*, hin und wieder Zygosporen auf, die eine stattliche Grösse erreichen (Fig. 2). 1. stellt den jungen Copulationszustand dar. b. b. die zwei copulirenden Fäden, von denen die Copulationszellen a. a. bereits abgeschieden sind. 2. Weiter vorgerückter Zustand. a. die in der Mitte verschmolzenen Copulationszellen, die junge Zygospore, auf welcher warzenartige Verdickungen c. sichtbar werden. b. b. die beiden Suspensoren. 3. Gestalt einer reifen Zygospore a. mit ihren beiden Suspensoren b. b. 4. Keimende Zygospore mit aufgeplatztem Exosporium. a. Zygospore. b. b. Suspensoren. c. Endosporium, welches vom Keimschlauch d. durchbrochen wird. Die erste Spitze e. des Keimschlauches kommt nicht zur Entwickelung und ist von dem Seitenaste f., der ein Sporangium g. trägt, durch eine Scheidewand abgeschieden.

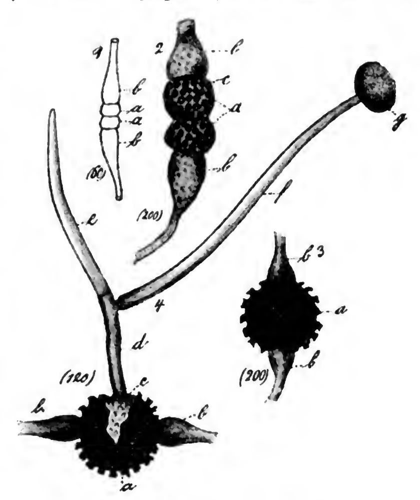


Fig. 2. Mucor Mucedo L. (Nach *Brefeld*.)

M. racemosus *Fresenius* ist besonders auf kohlehydratreichen Substanzen verbreitet. Die Fruchthyphen sind meist verzweigt und zarter sowie kürzer als bei voriger Art. Sporangien kugelig, 30—40 mikrom. im Durchmesser, gelblich bis hellbraun. Sporen ellipsoidisch bis kugelig, farblos und sculpturlos, 5—8 mikrom. lang und 4—5 mikrom. breit.

In alten Micelien findet in der Regel reichlich intercalare und terminale **Gemmenbildung** statt (Fig. 3. 3—5). Diese Gemmen oder Brutzellen entwickeln

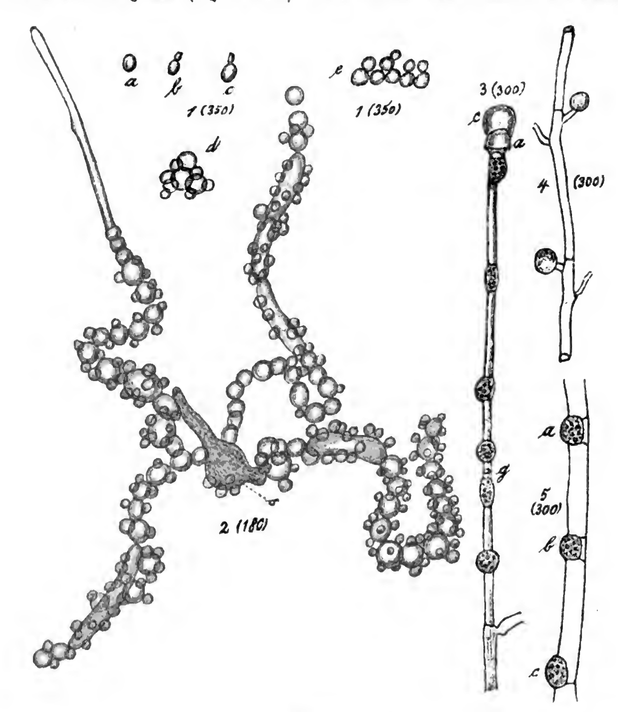


Fig. 3.
1. a—e Entwickelung des Sprossmycels von **Mucor racemosus**, im Pflaumendecoct von der Spore a aus. Sprosse kurz, kugelig (Kugelhefe). 2. Mycel von Mucor racemosus in verdünnter Zuckerlösung, aus Spores entwickelt, Zellen tonnenartig und mit Sprosszellen (Kugelhefe) versehen. — 3—5. Gemmenbildung bei Mucor racemosus. 3. Sporangienträger mit 6 Gemmen, g, und einer solchen a in der Columella c. 4. Mycelfaden mit 2 kurzen Seitenästchen, an welcher terminal 2 kugelige Gemmen sich befinden. 5. Mycelfaden mit 3 intercularen Gemmen. (Nach *Zopf*.)

unter günstigen Verhältnissen Mycelien, in feuchter Luft gehalten, zwergige Sporangienträger mit winzigen Sporangien. In zuckerhaltigen Nährlösungen tritt an den sowohl aus Gemmen wie Sporen entwickelten Keimschläuchen, welche unter solchen Verhältnissen verkürzt erscheinen, hefeartige Sprosse auf (Fig. 3); die kugeligen Glieder werden als **Kugel-** oder **Gliederhefe** bezeichnet. Letztere vermag leicht Alkoholgährung zu erzeugen. Die dabei aufsteigenden Kohlensäurebläschen pflegen aber die Hefezellen bald wieder an die Oberfläche zu tragen, wo dieselben dann

normales Mycel bilden. Dieser Vorgang erscheint sonach gleichsam als ein Mittel, welches dazu dient, den Pilz in normale Existenzbedingungen zurückzuführen.

Mucor stolonifer (Rhizopus nigricans. *Ehr.*) Fig. 4. Von dem Mycelium gehen bogig aufsteigende und sich wieder niedersenkende unverzweigte Aeste aus, welche Aehnlichkeit mit den Ausläufern (Stolonen) höherer Pflanzen besitzen; an ihren Enden heften sie sich an, indem sie aus diesen rosettenartig angeordnete kurze Zweige in Form von Wurzelhaaren treiben, die sich fest an das Substrat anschmiegen. Aus der Region, wo diese Haftapparate (Appressorien) liegen, erheben sich zwei bis mehrere Sporangienträger, welche an ihrer Spitze die kugeligen Sporangien tragen (Fig 4. 1). Von jeder Rosette aus nehmen dann wiederum 1—2 Stolonen ihren Ursprung, um sich in derselben Weise zu verhalten u. s. f. Auf diese Weise entsteht ein ganzes System von Stolonen, Haftapparaten und Sporangiengruppen.

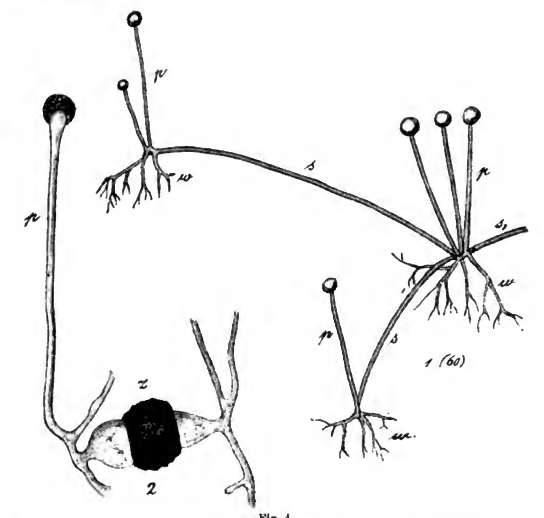


Fig. 4.

Mucor stolonifer. (Nach *de Bary.*) 1. s_1, Ende des Stolo, s. s. zwei Stolonen zweiter Ordnung. p. Sporangienträger. w. Wurzelhaare (schwach vergrössert). 2. z. Zygospore mit ihren Suspensorien. Von den Fäden, denen diese aufsitzen, entspringt ein Sporangienträger p, dessen Sporangium schematisch im Längsschnitt gezeichnet ist.

Die Sporangien sind tiefschwarz und warzig, die Sporen bräunlich und fast kugelig, 10—20 mikrom. im Durchmesser.

Der Pilz entwickelt auch Zygosporen (Fig. 4. 2), und zwar in einer ähnlichen Weise wie bei M. Mucedo. Die Zygospore, von Kugel- oder Tonnengestalt, besitzt eine sehr dicke Haut, welche aus mehreren Schichten besteht und eine grobwarzige Oberfläche besitzt. Zur Zeit der Ausbildung sitzt sie als schwarze, von dichtem,

fettreichem Protoplasma erfüllte Zelle zwischen dem erst mitwachsenden, schliesslich vertrocknenden Trägerpaar (Suspensorien). Nachträglich treiben dieselben Fäden, welche Zygosporen bildeten, oft dicht neben diesen, auch einzelne Sporangienträger.

Die übrigen Mucor-Arten bieten wegen ihres seltenen Vorkommens hier weiter kein Interesse.

Aspergillus. Kolbenschimmel.

Die aus dem Mycelium aufsteigenden Conidienträger, von 0,5—1,5 mm Länge, sind gewöhnlich einzellig und am Ende kopfförmig aufgeschwollen. Auf dieser Anschwellung entstehen in doldenförmiger Anordnung zahlreiche kleine flaschenförmige Sterigmen, welche an ihrer Spitze nach einander Conidien abschnüren. Letztere sind entweder rund oder etwas oval, von 1—6 mikrom. Durchmesser.

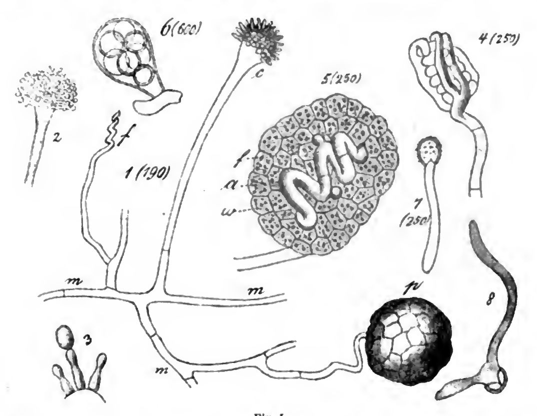


Fig. 5.

Entwickelung von Aspergillus glaucus. (Nach *de Bary* und *Zopf*). 1. m. m. Mycelfäden. c. Conidienträger, von dem die Conidien abgefallen. p. Schlauchfrucht. f. Anlage einer solchen. 2. 3. Conidienträger mit Basidien und Conidien. 3. stärker vergrössert. 4. Ascogon, von den Pollinodien umwachsen. 5. Junges Perithecium im Längsschnitt. w. zukünftige Wand. f. Füllgewebe. a. Ascogon. 6. Ein Ascus mit Sporen aus dem Perithecium. 7. Keimende Conidie. 8. Keimende Ascospore.

Dasselbe Mycelium, welches die Conidienträger bildet, erzeugt, wenn diese dem Ende der Entwickelung nahe sind, bei manchen Arten unter normalen Bedingungen eine Schlauchfrucht (Perithecium), welche entweder von der Anlage aus direct zur Ausbildung gelangt oder die zunächst in einen sclerotiumartigen Ruhezustand übergeht, worauf erst später die Schlaucherzeugung erfolgt.

Die Schlauchfrüchte beginnen als dünne, dem blossen Auge nicht einzeln unterscheidbare Zweiglein, welche nach bald begrenztem Längenwachsthum ihr Ende nach Art eines Korkziehers in meist 4—6 Windungen zu krümmen beginnen. Die Windungen nehmen dann an Steilheit mehr und mehr ab, bis sie schliesslich einander zur festen Berührung genähert sind, das ganze Ende also aus der Form eines Korkziehers in die einer hohlen Schraube übergegangen ist. In und an dem schraubenförmigen Körper gehen nun Veränderungen complicirter Art vor, deren detaillirte

Beschreibung hier zu weit führen würde und von denen nur angedeutet sein mag, dass sie als ein geschlechtlicher Zeugungsprocess zu bezeichnen sind. In Folge desselben wird aus dem Schraubenkörper rasch ein kugeliges Perithecium (Schlauchfrucht), bestehend aus einer dünnen, von einer Lage zarter Zellen gebildeten Wand und einer von dieser umschlossenen dichten Masse fest umschlungener Zellreihen. Unter Vergrösserung aller dieser Theile wächst der kugelige Körper so weit, dass er zur Reifezeit für das blosse Auge eben deutlich sichtbar ist. Die Aussenfläche der Wand nimmt hierbei ziemliche Derbheit und lebhaft gelbe Farbe an. Die Zellen der inneren Masse werden zum grössten Theil zu sporenbildenden Schläuchen (Asci), indem sie sich aus dem gegenseitigen Verbande lösen, breite Eiform annehmen, und jede in ihrem Innenraum acht Sporen erzeugt. Diese erfüllen alsbald vollständig den Raum des Ascus. Bei völliger Reife schwindet die Wand des letzteren, die Wand der Schlauchfrucht wird brüchig und aus ihren bei Berührung leicht entstehenden unregelmässigen Rissen gelangen die stets farblosen rundlichen Ascosporen ins Freie.

Aspergillus glaucus *de Bary* (Fig. 5). Als wollig flockiger Ueberzug des Substrates, erst rein weiss, allmählich mit kleinen, fein gestielten, graugrün oder schwarzgrün-staubigen Köpfchen sich über und über bedeckend, sich zunächst dem Auge bemerkbar machend. Conidien rund, warzig oder höckerig, 9—15 mikrom. Durchmesser. Sehr häufig vorkommend.

Aspergillus flavus *de Bary*. Sporenmassen schön goldgelb, gelbgrün oder bräunlich. Conidien kugelig, 5—7 mikrom. Durchmesser, mit fein warzigem Endospor. Bildet knollenförmige, schwarze, auf der Schnittfläche röthlich gelbe, ca. 0,7 mm messende Sclerotien. Vorkommen nicht häufig.

Aspergillus niger *van Tieghem*. Conidienträger bis über 1 mm hoch, mit schwarzbraunem Köpfchen und kugeligen Conidien von 3,5—4,5 mikrom. Durchmesser. Epispor derselben warzig, violettbraun. Bildet kugelige, knollenförmige bis cylindrische, braungelbe oder rothbräunliche, 0,5—1,5 mm messende Sclerotien. Seltener vorkommend.

Penicillium. Pinselschimmel.

Der Fruchtträger ist gegliedert und bildet im oberen Theile kurze Zweige. An den Enden des Hauptfadens sowohl, als auch an demjenigen der Seitenäste entstehen Basidien, an deren oberen Ausstülpungen (Sterigmen) die Conidien in Ketten abgeschnürt werden. Unterhalb dieser Basidien können andere entstehen, welche sich in gleicher Weise verhalten. So kommt ein Conidienstand in Pinselform zu Stande.

Schlauchfrüchte sind nur erst bei wenigen Arten aufgefunden, so bei P. glaucum, bei welchem sie nach *Brefeld* immer ein Sclerotiumstadium durchmachen.

Penicillium glaucum *Link*. (Fig. 6—8), der gemeinste Schimmelpilz, auf den verschiedensten Substraten vorkommend und auf denselben flockige, anfangs weisse, später blaugrüne Ueberzüge verursachend. Der Durchmesser der Sporen beträgt ca. 3,5 mikrom. Kümmerliche Formen entwickeln nur einen Faden, an welchem sich eine einzige Kette von Conidien abschnürt, bei üppiger Entwickelung lagern sich mehrere Fruchthyphen zu einem dichten Bündel zusammen (Coremium), an dessen oberem Ende sie wieder auseinandertreten, um in der beschriebenen Weise Conidienketten zu bilden.

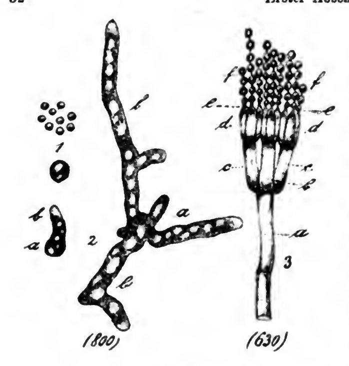


Fig. 6.
Penicillium glaucum *Link*. (Nach *Brefeld*.) 1. Sporen. 2. Deren Keimung. a. Spore. b. Keimschlauch. 3. Fruchtträger. a. Fruchthyphe. b. Endzelle. c. Seitenzweige. e. Sporenabschnürende Sterigmen. f. Sporen.

Die Schlauchfructification wird in Form von Sclerotien ausgebildet, die nach einer gewissen Ruheperiode Asci erzeugen, deren Sporen im Umriss ellipsoidisch, aber dabei eckig und mit Ausnahme einer medianen Längslinie verdickt erscheinen, in der Länge 5—6, in der Breite 4—4,5 mikrom. messend. Nach *Brefeld* entsteht das Sclerotium in der Weise, dass sich auf einem Mycelfaden ein schraubenförmiges Ascogon bildet (Fig. 7. 1), welches durch adventive Sprosse, die an einer Basis und am Mycel entstehen, und die sich später mit ihren Verzweigungen zu einem dicken Knäuel zusammenschliessen, eingehüllt wird. Während diese Hülle ihre peripherischen Elemente vergrössert, verdickt und sich so zu einem harten Körper

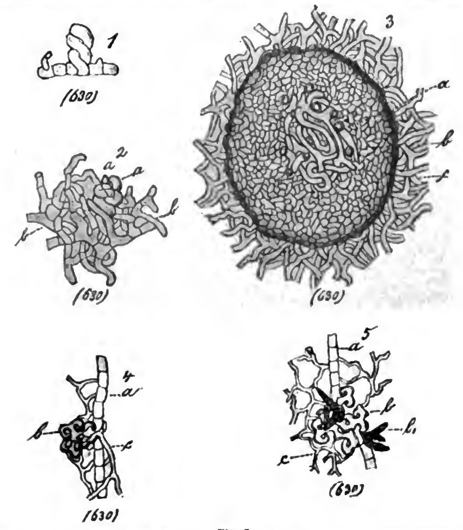


Fig. 7.
Penicillium glaucum *Link*. (Nach *Brefeld*.) 1. Geschlechtsorgane, welche sich verschlungen und wahrscheinlich copulirt haben, Ascogon und Pollinodium einem dicken zergliederten Mycelfaden aufsitzend. 2. Dieselben nach eingetretener Befruchtung im vorgeschrittenen Zustand. a. Das mit der Befruchtung auswachsende Ascogon. b. sterile Fäden, welche es beinahe umschliessen. 3. Junger Fruchtkörper (Sclerotium). a. ascogone Fäden. b. das sterile Geflecht. c. dasselbe von den locker umgebenden Hyphen durch einen Schatten abgesetzt. 4. Ascogone Fäden in vorgeschrittener Auskeimung. a. ascogoner Faden. b. ascenerzeugender Spross einer Gliederzelle des ascogonen Fadens. c. myceliale Fäden. 5. Weiter vorgeschrittener Zustand der Auskeimung und Entwickelung der ascenerzeugenden und mycelialen Sprosse. Bezeichnung wie bei 4. b. Profilansicht eines dicken Sprossarmes.

ausbildet, vergrössert und verzweigt sich das Ascogon und seine Aeste dringen nach allen Richtungen zwischen das mittlere, aus minder dickwandigen Zellen bestehende Gewebe ein (Fig. 7, 2. 3). Werden die ausgereiften Sclerotien auf feuchtes Filtrirpapier gelegt, so entwickeln sich die ascogonen Fäden weiter, indem sie sich gliedern und dicke Seitenzweige treiben, deren Glieder schliesslich zu Ascen werden (Fig. 7, 4. 5). Während dieser Vorgänge haben sich als Seitenzweige der ascogonen Hyphen feine, dünne Fäden entwickelt, die zwischen das sterile Gewebe eindringen und dieses zur Auflösung bringen. Die so gewonnenen Nährstoffe führen die feinen Fäden den ascogonen Hyphen zu. Schliesslich schreitet der erwähnte Auflösungsprocess soweit vor, dass nur noch die peripherische Rinde übrig bleibt, während das Innere endlich ganz von den Sporenmassen ausgefüllt erscheint.

Zu wesentlich anderen Resultaten gelangte *Zukal* in seinen diesbezüglichen entwickelungsgeschichtlichen Untersuchungen, sowohl bezüglich der Entstehung des Sclerotiums, als der ascognoen Fäden, die nach ihm nicht von einem, sondern von mehreren Initialorganen aus entstehen.

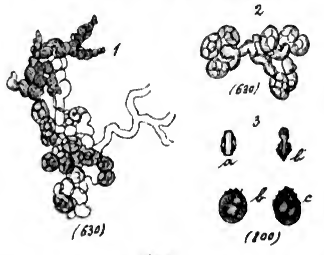


Fig. 8.
Penicillium glaucum *Link.* (Nach *Brefeld*). 1. Spitze eines ascentragenden Fadens. 2. Stück von einem fructificirenden Faden, dessen ascentragende Seitenäste reif und theilweise abgefallen sind. 3. Ascosporen von der Seite gesehen. b. u. c. Keimung

Erysiphe (Oïdium). Mehlthau.

Unter den Erysiphe-Arten, welche gewöhnlich auf lebenden Pflanzen auftreten und auf denselben den als „Mehlthau" bekannten schimmelartigen Ueberzug hervorrufen, kommt als saprophytische Form hier nur Oïdium lactis in Betracht. Als Oïdium bezeichnet man die Conidienfructification der Erysiphe-Arten.

Oïdium lactis *Fres.* (Fig. 9) ist ausserordentlich verbreitet, und kommt besonders auf saurer Milch, aber auch auf Thierexcreten, Mist, und im Boden *(Adametz)* sehr häufig vor. Er bildet stramme, horizontal verzweigte Mycelfäden, aus welchen sich die Conidienträger erheben. Letztere erreichen eine bestimmte Länge, worauf sie ihr Spitzenwachsthum einstellen und sich dann, mit Ausnahme des untersten Theiles, in ihrer ganzen Ausdehnung in eine Reihe walzenförmiger Glieder, welche 1—2 mal so lang als breit sind, theilen. Jedes dieser stellt eine Conidie dar. Bald nach ihrer Anlegung trennen sie sich von einander, erst unvollständig und so, dass die Kette im Zickzack hin und her geknickt erscheint, bald gänzlich auseinanderfallend. Bisweilen tritt scheinbar Astbildung auf, indem die Fruchthyphe neben der endständig gebildeten Sporenkette aufwärts weiter wächst. Die Sporen sind 7,7—10,8 mikrom. lang. In geeignetem Substrat keimen sie leicht und geben sofort einem wiederum dieselbe Form von Conidien bildenden Mycelium den Ursprung. Die zugehörige Perithecienfructification ist noch nicht aufgefunden. Aus diesem Grunde konnte die Zugehörigkeit des Oïdium zu einem höheren Pilz bis jetzt nicht erkannt werden, obgleich man dies mit ziemlicher Sicherheit annehmen darf.

In die Gruppe der Schimmelpilze gehört noch eine ganze Reihe von saprophytischen Formen, die aber nicht so allgemein verbreitet wie die oben näher beschriebenen und in ihrem Auftreten auf gewisse Substrate beschränkt sind.

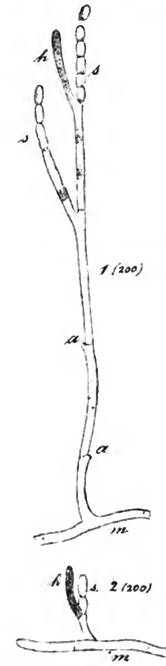


Fig. 9.
Oïdium lactis *Fres.* (Nach *Flügge.*) 1. Aeltere, 2. Jüngere Fruchthyphe. m. Mycel. s. Sporenkette, neben welcher die Fruchthyphe h) als Seitenzweig weiter fortwächst. a. Die älteren Sporenstände.

Als mistbewohnende Pilze wären anzuführen: Pilolobus crystallinus *Tode*, Mortierella Rostafinskii *Brefeld*, Coprinus stercocarius *Bulliard*, Sordaria minuta *Fuckel*, S. Brefeldii *Zukal*, S. curvula *de Bary*, S. decipiens *Winter*, S. pleiospora, S. Wiesneri etc. Thamnidium elegans *Link*, Ascobolus pulcherrimus *Crouan*, A. denudatus Fr., A. furfuraceus *Persoon*, Syncephalis cordata *van Tieghem* et le *Monnier*, Ascodesmis nigricans *van Tieghem*, Saccobolus-Arten[1]).

Verwesende Pflanzentheile werden gleichergestalt von zahlreichen Pilzarten bewohnt. Dasselbe gilt auch von todten Insekten, Würmern u. s. w.[1])

2. Sprosspilze (Hefepilze).

Die Sprosspilze bestehen aus mikroskopisch kleinen Zellen, welche sich durch Sprossung vermehren. Letztere geht in der Weise vor sich, dass sich die Membran an einem oder beiden Enden der Zelle ausstülpt, dass diese Ausstülpung sich hierauf mit einem Theil des Protoplasmas der Mutterzelle füllt, die Form und Grösse derselben annimmt und sich schliesslich durch eine Querwand von der Mutterzelle abgrenzt.

Die eigentlichen Hefepilze (Saccharomyceten) vermögen ausser diesem sogen. Sprossmycel, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben[2]), unter bestimmten Bedingungen auch ächte gegliederte Mycelien zu bilden und sich unter gewissen Verhältnissen, besonders unter dem Zutritt der atmosphärischen Luft, durch Bildung von Sporen (Ascosporen) im Innern der Zelle fortzupflanzen. Je nach äusseren Bedingungen erfolgt sonach die Vermehrung dieser Organismen in zweierlei Weise, entweder durch Sprossung oder durch Sporenbildung.

Eine genaue Unterscheidung der in morphologischer und biologischer Hinsicht von einander abweichenden Arten ist zur Zeit noch nicht gelungen, weil es an Culturmethoden fehlte, die einzelnen Species sicher von einander zu trennen.

Von den bisher unterschiedenen und bei der Zersetzung organischer Stoffe im Boden (nach *Adametz*) vorkommenden Arten seien hier angeführt:

[1]) Vergl. *W. Zopf.* Die Pilze in morphologischer, physiologischer, biologischer und systematischer Beziehung. Breslau. 1890.

[2]) *E. C. Hansen.* Recherches sur la morphologie des ferments alcooliques. Résumé du comptes rendus des travaux du laboratoire de Carlsberg. Vol. II. 1886. p. 106.

Saccharomyces cerevisiae. Bierhefe. Zellen, von kugeliger oder ovaler Gestalt, 8—9 mikrom. lang, von einer festen Membran umgeben. In dem fein-körnigen protoplasmatischen Inhalt mit Zellsaft erfüllt. Hohlräume (Vacuolen), besonders in ausgewachsenen Zellen. Zellkern verhältnissmässig gross. Ascosporen kugelig, stark lichtbrechend, von 2,5—6 mikrom. im Durchmesser. Gewöhnlich sind 2—4, bisweilen 5—6 oder auch nur eine Spore in einer Mutterzelle vorhanden. (Fig. 10.)

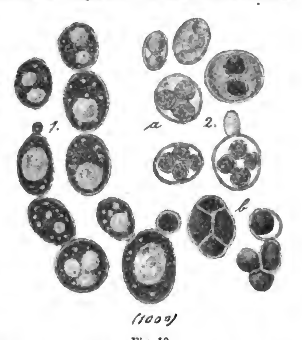


Fig. 10.
Saccharomyces cerevisiae. (Nach *Hansen*.) 1. Sprossbildung. 2. Sporenbildung. a. Erste Entwickelungsstufen der Sporen. b. Ascosporen in reifem Stadium.

Saccharomyces ellipsoïdeus. Weinhefe. Zellen elliptisch, ca. 6 mikrom. lang, einzeln oder in verzweigten kurzen Ketten; Sporen, welche in gleicher Weise wie bei voriger Art entstehen, gewöhnlich zu 2—4 in einer Mutterzelle, von 3—3 $^1/_2$ mikrom. Durchmesser. Gährungspilz der spontanen Gährungen, besonders der Weinmostgährung und daher überall verbreitet. (Fig. 11.)

Saccharomyces glutinis, Rosahefe (Fig. 12). Zellen kugelig oval bis kurz cylindrisch, 5—11 mikrom. lang, 4 mikrom. breit, isolirt oder zu zweien verbunden. Zellmembran und Inhalt in frischem Zustande farblos. Sporenbildung unbekannt. Bildet rosafarbene schleimige Ueberzüge auf Kartoffelscheiben und Nährgelatine u. s. w. *Hansen* unterscheidet drei verschiedene Arten von Rosahefe, von denen eine Ascosporen bilden soll.

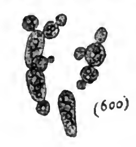


Fig. 11.
Saccharomyces ellipsoïdeus. (Nach *de Bary*.)



Fig. 12.
Saccharomyces glutinis. (Nach *Cohn*.)

Ueber das Vorkommen der übrigen noch unterschiedenen Arten (Saccharomyces conglomeratus, S. apiculatus, S. sphaericus, S. mycoderma, S. albicans, R. Pastorianus) in faulenden organischen Stoffen ist nichts bekannt. Ausserdem existiren Formen, welche noch nicht näher untersucht sind.

Den Saccharomyceten sehr ähnlich sind noch einige anderweitige, im Boden, auf sich zersetzenden Pflanzentheilen, auf Kuhmist, in der Luft u. s. w. vorkommende Organismen, nämlich Monilia candida und verschiedene Torula-Arten.

Monilia candida *Hansen* (Fig. 13). Sprossvegetation derjenigen der Saccharomyceten sehr ähnlich. In den Vacuolen der Zellen liegt ein tanzendes stark lichtbrechendes Körperchen. Unter Luftzutritt bildet sich ein mattgrünes Kahmhäutchen, das zunächst aus Sprossverbänden und Einzelzellen, später aber aus ächten, mit deutlichem Spitzenwachsthum versehenen Mycelien besteht, an

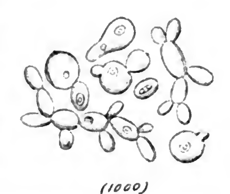


Fig. 13.
Monilia candida. (Nach *Hansen*.)

welchen befeartige seitliche Conidiensprosse, sowie oïdiumartige Abgliederungen auftreten. M. candida ist im Stande, Rohr und Malzzucker direct zu vergähren, besitzt aber nicht die Fähigkeit, diese Zuckerarten zu invertiren.

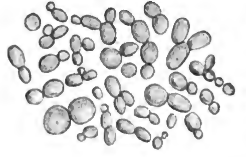


Fig. 14.
Torula, aus Erde in Bierwürze gezüchtet. (Nach *Hansen*.)

Torula-Arten (Fig. 14), weitverbreitete Pilze, bilden in zuckerhaltigen Flüssigkeiten Sprossverbände, wie die Saccharomyceten. Typische Mycelien fehlen, ebenso endogene Sporenbildung. Sie sind Alkoholerreger. Einige Formen vermögen Invertin zu bilden, doch scheinen jene, welche inversionsunfähig sind und die Maltose nicht vergähren, nach *Hansen*, am meisten verbreitet zu sein.

3. Spaltpilze.

Die Spaltpilze oder Bacterien umfassen eine grosse Gruppe von kleinsten, einzelligen, kugeligen oder fadenförmigen, sich vornehmlich durch Theilung vermehrenden Organismen, welche sowohl auf lebenden wie todten Pflanzen und Thieren auftreten und in Folge der Nahrungsaufnahme und ihrer gemeinhin ausserordentlichen Vermehrung an dem Substrat die weitgehendsten chemischen Veränderungen hervorzurufen vermögen.

Nach der äusseren Gestalt, welche sehr verschieden ist, unterscheidet man hauptsächlich folgende Wuchsformen:

Micrococcus, aus kugeligen oder ovalen Zellen bestehend, welche bei rosenkranzartiger Anordnung als Streptococcus und, wenn sie sich zu unregelmässigen Haufen zusammenlagern, als Staphylococcus bezeichnet werden.

Bacillus, längere oder kürzere Stäbchen bildend, welche man, sobald sie eine spindelförmige Form besitzen und in der Mitte aufgeschwollen sind, mit dem besonderen Namen Clostridium belegt. In früherer Zeit unterschied man zwischen kürzeren Stäbchen, Bacterium, und längeren, Bacillus, doch ist man von dieser Bezeichnungsweise wegen Unzulänglichkeit der betreffenden Merkmale abgekommen. Bei stärkerer Verlängerung bilden die Bacillen echte Fäden, durch Aneinanderlagerung in der Längsrichtung Scheinfäden. Diese Formen führen die Bezeichnung Leptothrix. Verzweigungen solcher Fäden nach Art der Hyphen der Schimmelpilze wurden nicht beobachtet. Mit Spirillum oder Spirochaete bezeichnet man jene Wuchsform, bei welcher die Bacillen oder Fäden schraubenförmig gewunden erscheinen. Bei schwacher Ausbildung der Spiralwindungen und stärkerer Streckung der Spirillen gebraucht man auch wohl die Bezeichnung Vibrio.

Nicht selten treten die Spaltpilze in Form von Sporen auf, kugelige oder ovale Zellen, die der Fortpflanzung dienen und stets wieder zu dem mütterlichen Organismus auswachsen, aus welchem sie hervorgegangen sind.

In erschöpften Nährlösungen und unter verschiedenen anderen Bedingungen treten die Spaltpilze ausserdem in allerlei Zerrformen auf, die durch ihr Absterben und durch ihre Rückbildung bedingt sind.

Viele Spaltpilze sind dadurch charakterisirt, das sie nur in einer Wuchsform auftreten, bei anderen kommen verschiedene Wuchsformen vor, welche von dem

Individuum während seiner Entwickelung in einer bestimmten Reihenfolge durchlaufen werden.

Je nach Alter oder Ernährungsbedingungen machen sich zwar bei den einzelnen Formen gewisse Modificationen geltend, doch nur in einem solchen Grade, dass dadurch die charakteristischen Merkmale nicht wesentlich alterirt werden.

Die Zellen der Spaltpilze bestehen aus einer Membran, die bei einigen Arten mit Farbstoffen imprägnirt und zuweilen mit einer gelatinösen, der Gestalt der Zelle sich anpassenden Hülle umgeben ist, und einem protoplasmatischen Inhalt, in welchem man oft kleine ölartige Tröpfchen beobachtet.

Einige Wuchsformen und Arten von Spaltpilzen befinden sich stets in Ruhe, nur in Folge von Strömungen in der Flüssigkeit, in welcher sie sich befinden, eine zitternde Bewegung zeigend, andere Formen und Arten kommen bald in Ruhe, bald in lebhafter Bewegung vor, indem sie eine Rotation um die Längsachse oder Beugungen und Streckungen zeigen oder durch Geisselfäden sich fortbewegen.

Im Ruhezustande treten die Spaltpilze entweder vereinzelt oder in Fäden auf, oder sie bilden, durch ihre Gallerthüllen mit einander flächenhaft ausgebreitet, verbundene Conglomerate von Zellen, welche die Bezeichnung Zoogloea führen.

Bei der Vermehrung der Spaltpilze durch Theilung wächst die Zelle in die Länge, worauf eine deutliche Einschnürung in der Mitte der Längswandung entsteht und schliesslich beide Hälften sich von einander trennen. Die entstandenen Individuen können jedes für sich weitere Spaltungen erfahren, oder sie bilden, aneinandergelagert Ketten und Scheinfäden. Nur bei einigen Micrococcen (Sarcina) beobachtet man gleichzeitig oder nacheinander Theilung nach zwei oder drei verschiedenen Richtungen, so dass packetförmige, aus vier bis acht Zellen bestehende Anordnungen entstehen.

Neben der Vermehrung durch Theilung tritt bei manchen Spaltpilzen (Bacillen und Spirillen) eine solche durch Sporen auf. Die Bildung letzterer ist eine sehr verschiedene. Sie kann in der Weise erfolgen, dass die Bacillen bedeutend in die Länge wachsen und dass nach Gliederung ihres Inhaltes in kettenförmiger Anordnung gewöhnlich eirunde Sporen entstehen, die nach dem Auflösen der Fäden frei werden. In anderen Fällen verdicken sich die Bacillen, nehmen eine Spindel-, Ellipsoïd- oder Kaulquappenform an, worauf sich der Inhalt trübt, ein grösserer lichtbrechender Tropfen sich ausscheidet, der sich dann zur Spore umbildet. Weiters können Sporen, ohne merkbare Veränderung der Zelle, dadurch entstehen, dass in der Zelle zwei, drei und mehrere kleine, kugelige, glänzende Punkte auftreten, welche die Sporen repräsentiren. Schliesslich kommen auch Fälle vor, wo die Sporen sich an einem Polende (Köpfchensporen) oder an beiden Polenden bilden.

Ausser dieser endosporen unterscheidet man eine arthrospore Fructification, welche weniger häufig vorkommt. Dieselbe soll darin bestehen, dass einzelne Glieder aus einer Kette oder einem Haufen von Bacterienzellen sich lebensfähiger erweisen als die übrigen. Erstere dienen der Vermehrung, während die übrigen Zellen absterben.

Die meisten endogen gebildeten Sporen haben den Charakter der Dauerzellen, die resistenter sind als die vegetativen Zellen derselben Art. Ihre Widerstandsfähigkeit ist gemeinhin im lufttrockenen Zustande eine grosse, insofern sie sich unter solchen Umständen längere Zeit lebensfähig erhalten; gegenüber höheren Tempera-

turen zeigt sich dieselbe dagegen sehr verschieden. Während die Dauersporen der Bacillen bei starker Erwärmung (80—100°) meist am Leben erhalten bleiben, werden unter derartigen Verhältnissen die Sporen der Micrococcen und der Spirillen zu Grunde gerichtet. In gleicher Weise ist die Resistenz der Sporen bei Einwirkung chemischer Agentien sehr verschieden.

Die Keimung der Sporen erfolgt erst nach einem längeren Ruhestadium und gewöhnlich so, dass sich an der einen Längsseite eine, späterhin zu einem Stäbchen auswachsende Papille ausbaucht oder dass der Keimschlauch in der Richtung der Längsachse der Spore hervortritt, wobei das Endosporium zur Membran des Keimlings wird, während das abgestossene Exosporium noch längere Zeit neben dem gebildeten Stäbchen liegen zu bleiben pflegt.

Zur systematischen Classificirung der verschiedenen Bacterien benutzt man am besten deren morphologische und biologische Eigenschaften. Vier grosse Abtheilungen werden zunächst dadurch gebildet, dass eine einzige Wuchsform oder ein bestimmter beschränkter Kreis von Wuchsformen einer grösseren Zahl von Bacterienarten als eigenthümlich zukommt. Zu der ersteren gehören alle Arten, welche nur in der Wuchsform Micrococcus auftreten. Die zweite Abtheilung bilden die stäbchenförmigen Bacterien, die Bacillen, die dritte umfasst die schraubenförmigen Formen, die Spirillen, während zu der vierten Abtheilung alle jene Organismen zu rechnen sind, in deren Entwickelungskreis die verschiedensten Wuchsformen gehören.

Die im Folgenden beschriebenen Arten sind solche, welche nach den Untersuchungen von *L. Adametz*, *C. Flügge*, *E. Kramer*, *P. Fülles* u. A. im Boden, in menschlichen und thierischen Excrementen, sowie in sich zersetzenden Stoffen vegetabilischen und animalischen Ursprungs hauptsächlich aufgefunden worden sind. Diese Uebersicht soll keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, weil sie lediglich den Zweck hat, zur allgemeinen Orientirung zu dienen und Anregung zu einem näheren Studium der Bacteriologie zu geben. Aus diesem Grunde und um die Darstellung nicht über Gebühr auszudehnen, sind die für viele Arten charakteristischen Wachsthumsverhältnisse auf verschiedenen Nährsubstraten nicht berücksichtigt und lediglich das Verhalten der einzelnen Species auf Gelatine und hinsichtlich der Erzeugung eines Farbstoffes angegeben, wobei als Abkürzungen gewählt wurden: G. v. für „Gelatine verflüssigend", G. n. v. für „Gelatine nicht verflüssigend", F. für „Farbstoff producirend" und K. F. für „keinen Farbstoff producirend".

I. Micrococcen.

Diese Organismen werden aus kugeligen oder eiförmigen Zellen gebildet, die sich lediglich durch Theilung vermehren und keine spontane Bewegung zeigen. Haften die bei der Theilung entstandenen Zellen noch aneinander, so nennt man diese Form Diplococcus. Die neugebildeten Zellen bleiben isolirt, oder bilden bei Zusammenlagerung derselben die oben als Streptococcus, Staphylococcus, Zoogloea und Sarcina bezeichneten Wuchsformen. Der zoogloeaartige Verband führt den Namen Ascococcus, wenn die Intercellularsubstanz sehr derb ist und die Masse knorpelig und in einander geschachtelt erscheint, und wird Clathrocystis genannt in dem Falle, wo die Gallertmassen sich im Innern der Verbände auflösen und nur eine, den mit Flüssigkeit gefüllten Hohlraum umgebende äussere Schicht zurückbleibt.

Micrococcus aurantiacus, *Cohn* (Bacteridium aurantiacum, *Schröter*). Runde, ungefärbte, stark lichtbrechende Zellen, von 1,2—1,4 mikrom. Durchmesser. In *Cohn*'scher Nährlösung eine 2—3 mm dicke goldgelbe Kahmhaut an der Oberfläche bildend. Pigment in Wasser löslich. Durch Umwandlung der äusseren Membranschichten findet Bildung einer schleimigen Intercellularsubstanz statt, in welcher die Zellen eingebettet sind (Zoogloea). Unbeweglich. G. n. v. — F.

Micrococcus candicans, *Flügge.* Zellen rund, ziemlich gross, zu unregelmässigen Haufen von 0,4—0,5 mm Durchmesser zusammengelagert. Unbeweglich. G. n. v. — K. F.

Micrococcus candidus, *Cohn.* Kugelförmige, stark lichtbrechende Zellen, von 0,5—0,6 mikrom. Durchmesser. Diplococcen, Tetraden und Zoogloea bildend. Unbeweglich. G. n. v.

Micrococcus cereus albus, *Passet.* Coccen von 1,2 mikrom. Durchmesser, einzeln oder zu Haufen, zuweilen auch zu kurzen Ketten angeordnet. Unbeweglich. G. n. v. — K. F.

Micrococcus cinnabareus, *Flügge.* Grosse kugelrunde Coccen, oft in Form von Diplococcen und Tetraden. G. n. v. — F.

Micrococcus fervidosus, *Adametz-Wichmann.* Kleine, runde, 0,6 mikrom. im Durchmesser besitzende Coccen, theils zu Diplococcen, theils zu kleinen Häufchen geordnet. Unbeweglich. G. n. v. — K. F.

Micrococcus flavus desideus, *Flügge.* Kleine Coccen, meist als Diplococcen, aber auch im Dreieckverband oder in kurzen Ketten gelagert. Unbeweglich. G. v. — F.

Micrococcus flavus liquefaciens, *Flügge.* Ziemlich grosse Coccen, meist zu zweien oder dreien, sowie auch in Haufen zusammengelagert. Bewegungslos. G. v. — F.

Micrococcus luteus, *Cohn* (Bacteridium luteum, *Schröter*). Elliptische stark lichtbrechende Coccen, theils einzeln, theils zu Diplococcen vereint. Kürzerer Durchmesser 0,8—0,9 mikrom., längerer Durchmesser 1,0—1,2 mikrom. Das abgesonderte gelbe Pigment in Wasser unlöslich. Bildung von Zoogloeen. Unbeweglich. G. n. v. — F.

Micrococcus, rother, *Maschek.* G. n. v. — F.

Micrococcus ureae, *Pasteur. van Tieghem* (Fig. 15). Runde Zellen von 0,8—1,0 mikrom. Durchmesser, oft in Diplococcen, Tetraden, auch in längeren Ketten auftretend, Gelatine nicht verflüssigend, dadurch hauptsächlich unterschieden von

Micrococcus ureae liquefaciens, *Flügge.* Coccen kugelig, von 1,25—2 mikrom. Durchmesser, vereinzelt oder in Ketten von 3—10 Gliedern, auch in unregelmässigen Gruppen.

M. versicolor, *Flügge.* Kleine, zu 2 oder in Häufchen zusammengelagerte Coccen. G. n. v. — F.

(650)

Fig. 15. Micrococcus ureae. (Nach Cohn.)

Diplococcus luteus, *Adametz.* Neben Diplococcen einzelne länglich runde isolirte Coccen, von 1,2—1,3 mikrom. Längendurchmesser, Tetraden nicht vorhanden, dagegen Ketten aus 6—8 Gliedern, producirt gelben und rothbraunen Farbstoff. Lebhaft beweglich. G. v. — F.



Fig. 16.
Sarcina. (Nach *Flügge*.)

Sarcina lutea, *Schröter* (Fig. 16). Rundliche Zellen, von über 1 mikrom. Durchmesser, welche sich nach drei Richtungen des Raumes theilen, wobei die Tochterzellen verbunden bleiben und so packetförmige, geschnürten Waarenballen ähnliche Colonien entstehen. Gelbes Pigment absondernd. G. v.

II. Bacillen.

Die Bacillen besitzen Stäbchenform; ihre Längsachse übertrifft den Querdurchmesser um das Doppelte oder Mehrfache. Sie durchlaufen in der Regel mehrere der oben beschriebenen Formenkreise, und treten deshalb nicht ausschliesslich in der Wuchsform Bacillus auf, welche indessen für sie insofern charakteristisch ist, als sie ursprünglich aus der Bacillusform hervorgegangen sind und wieder in dieselbe zurückkehren.

Man beobachtet bei den Bacillen einen Ruhezustand, in welchem sie sich häufig in Fäden, Haufen oder Zoogloea lagern, oder ein Schwärmstadium. Letzteres ist bei manchen Arten noch nicht wahrgenommen.

Bacillus aceticus, Fig. 17 (Bacterium aceti, *Kütz*). Essigpilz. Essigferment. Bei seiner Entwickelung zeigen sich verschiedene Wuchsformen: 1. Die Micrococcusform, 2. die Kurzstäbchenform, 3. die Längsstäbchenform, 4. die Leptothrixform, welche sämmtlich Zoogloeabildung in Form der Kahmhaut eingehen können. Querdurchmesser der Coccen und Stäbchen etwa 1,5 mikrom. Dieselben bilden einen Schwärmzustand. Bemerkenswerth und fast geradezu charakteristisch für den Essigpilz ist der Umstand, dass die längeren Stäbchen sowohl, als die Fadenzustände häufig abnorme Gestalt annehmen, indem die cylindrische Form einer mehr oder minderen bauchigen Anschwellung weicht. Dabei verdickt sich meistens die Membran etwas. Solche Formen sind wahrscheinlich als Involutionszustände aufzufassen, doch ist es andererseits nicht ausgeschlossen, dass dieselben Arthrosporen darstellen.

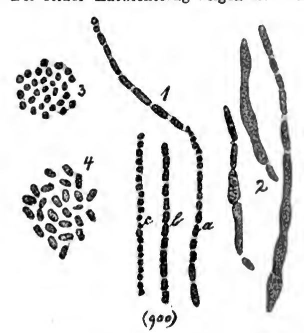


Fig. 17.
Bacillus aceticus. (Nach *Zopf*.) 1. Normale Fadenzustände, bei a in Langstäbchen, Kurzstäbchen und Coccen, bei b in Kurzstäbchen, die in Zweitheilung begriffen sind, bei c in Coccen gegliedert. 2. Fäden mit abnormen, stark bauchigen Gliedern (Involutionsformen). 3. Coccenhaufen. 4. Stäbchenhaufen.

Bacillus acidi lactici, *Hueppe* (Fig. 18). Milchsäureferment. Kurze dicke Zellen, die mindestens $^1/_2$ mal länger als breit sind und meist zu zwei, selten zu vier aneinanderhängen. Mittlere Länge der Stäbchen nach *Hueppe* 1—1,7 mikrom., Querdurchmesser derselben 0,3 bis 0,4 mikrom., doch kommen auch Stäbchen bis zu 2,8 mikrom. vor. Die Bacillen sind ohne Eigenbewegung. Sporenbildung lässt sich deutlich in Zuckerlösungen, schwieriger in Milch erkennen. Dieselbe findet an den Enden der Zellen statt.

(1100)

Fig. 18.
Bacillus acidi lactici. (Nach *Flügge*.)

G. n. v. — K. F.

Bacillus albus, *Eisenberg*. Kurzstäbchen mit abgestutzten Enden. Beweglich. G. n. v. — K. F.

Bacillus amylobacter, *van Tieghem*. (Siehe B. butyricus.)

Bienstocks Bacillen aus Faeces. Von *Bienstock* in Faeces regelmässig gefunden, an Grösse und Aussehen dem B. subtilis gleichend, jedoch ohne Eigenbewegung, zwei verschiedene Arten, die sich durch Wachsthum und Form der Colonien von einander unterscheiden. G. n. v. — K. F.

Bacillus butyricus, *Cohn*. (Bacillus amylobacter, *van Tieghem*, Chostridium butyricum, *Prazmowsky*), Buttersäurepilz (Fig. 19). Stäbchen von 3—10 mikrom. Länge und 1 mikrom. und etwas weniger Breite. Häufig Bildung von Ketten oder scheinbar ungegliederten Fäden. Meist lebhaft beweglich, aber auch ruhend und Zoogloea bildend. Nach einiger Zeit pflegen die Stäbchen sich in der Mitte spindelförmig oder am Ende kaulquappenartig zu verdicken. An den verdickten Zellen beträgt der Querdurchmesser 1,8—2,6 mikrom. Alsdann beginnt die Sporenbildung. Ovoide Sporen, von 2,0—2,5 mikrom. Länge und 1 mikrom. Breite, nach Auflösung der Mutterzelle frei werdend. Bei der Keimung der Spore schwindet an dem einen spitzen Ende der länglichen Spore die Doppelcontourirung der Sporenmembran und tritt an dieser Stelle der Keimschlauch in der Richtung der Längsachse der Spore hervor. Die derbe Haut der Spore schrumpft nicht und wird oft noch lange von dem jungen Stäbchen nachgeschleppt. G. v. — K. F. Der von *Liborius* angeführte Buttersäure bildende Bacillus bietet in Bezug auf morphologische Merkmale von dem vorigen keine merklichen Unterschiede.

(1020)

Fig. 19.
Bacillus butyricus. (Nach *Prazmowski*.)
1. Vegetative Zustände. a. Kurzstäbchen. b. Langstäbchen. c. vibrionenartig gekrümmte Stäbchen. 2. Dauersporenbildung. b. c. Stäbchen vor, d. e. während, f. g. h. nach der Sporenbildung. 3. Keimung der Dauersporen in verschiedenen Stadien.

Bacillus butyricus, *Hueppe*. In Form grosser Bacillen von *Hueppe* aus Milch unter gewissen Bedingungen isolirt, von dem von *Prazmowski* beschriebenen morphologisch nicht verschieden.

Bodenbacillus, *Adametz*. Stäbchen von 2,5—3 mikrom. Länge und 0,6 bis 0,7 mikrom. Breite. Häufig Fäden und Scheinfäden von 15—20 mikrom. Länge, an dem einen Ende Pendelbewegung zeigend. Aeltere Fäden an einem Ende mässig verdickt (Involutionsform). G. v. — K. F.

Bacillus candicans, *Frankland*. Dicke Kurzstäbchen, oft dicke Fäden bildend. Unbeweglich. G. n. v. — K. F.

Citronengelber Bacillus, *Frankland*.

Bacillus coprogenes foetidus, *Schottelius* (Fig. 20). Unbewegliche Stäbchen mit abgerundeten Enden, etwa so gross wie B. subtilis, nur kürzer. Sporenbildung. Sporen liegen reihenförmig aneinander. Beim Auskeimen steht die Längsachse des neuen Stäbchens senkrecht zur Längsachse der Sporen. Unbeweglich. G. n. v.

(600)

Fig. 20. Bacillus coprogenes foetidus. (Nach *Flügge*.)

Bacillus cuticularis, *Tils*.

Bacillus denitrificans I, *Burri* und *Stutzer* (Fig. 21). Stäbchen mit abgerundeten Enden, 0,75 mikrom. Dicke und 1,5 bis 2,5 mikrom. Länge. In Bouillonculturen beträgt die Länge 2 bis 3 mikrom. In jungen Plattenculturen die grössere Zahl der Einzel- und Doppelstäbchen unbeweglich. Wo Bewegung vorhanden, ist sie lebhaft. In zwei Tage alten Bouillonculturen ist ein grosser Theil der Stäbchen unbeweglich. Der Bacillus ist physiologisch dadurch charakterisirt, dass er mit Bacterium coli commune oder B. typhi abdominalis und vielleicht mit noch anderen Arten in Symbiose beträchtliche Mengen von Nitrat oder Nitrit unter Entbindung von elementarem Stickstoff zersetzen kann. G. n. v. — F.

(1000)

Fig. 21. Bacillus denitrificans I. (Nach *Burri*.)

Bacillus denitrificans II, *Burri* und *Stutzer* (Fig. 22). Stäbchen von 0,75 Dicke und 2—4 mikrom. Länge. Beweglichkeit äussert sich in schlängelnder Weise unter eigenthümlichem Zittern des ganzen Stäbchens. Der Bacillus besitzt die Fähigkeit, grössere Mengen von Nitraten und Nitriten unter Entbindung elementaren Stickstoffs zu vergähren. G. n. v. — F.

Bacillus diffusus, *Frankland*. Dünne schlanke, lebhaft bewegliche Stäbchen, etwa 1,7 mikrom. lang und 0,5 mikrom. breit, einzeln oder zu zweien, gelegentlich auch lange, wellenförmige Fäden bildend. G. v. — K. F.

Erde-Bacillus. (Siehe B. mycoides.)

Bacillus erythrosporus, *Eidam*. Schlanke bewegliche, mit stumpf abgerundeten Enden versehene Bacillen, oft kurze Fäden bildend. Bei Zimmertemperatur entstehen in jedem Stäbchen 2—8 perlschnurartig aneinandergereihte ovale Sporen, die eine schmutzig rothe Farbe zeigen. G. n. v. — F.

(1000)

Fig. 22. Bacillus denitrificans II. (Nach *Burri*.)

Bacillus filiformis, *Tils*.

Bacillus fluorescens liquefaciens, *Flügge*. Kurze bewegliche Bacillen, zu zweien aneinander gelagert und mit Einschnürung in der Mitte. Sporenbildung nicht beobachtet. G. v. — F.

Bacillus fluorescens putidus, *Flügge*. Kleine, kurze, sehr lebhaft bewegliche Bacillen mit abgerundeten Enden. G. n. v.

Fluorescirender Wasserbacillus, *Ehrenberg*.

Bacillus gasoformans, *Eisenberg*. Kleine, sehr bewegliche Stäbchen. G. v. — K. F.

Grauer Bacillus, *Maschek*.

Grüngelber Bacillus, *Eisenberg*.

Bacillus janthinus, *Zopf*. Längere und kürzere schwärmfähige Stäbchen,

die in kürzere Glieder zerfallen. Violettes Pigment bildend. Rotirende und vibrirende Bewegung. G. v. — F.

Bacillus liquidus, *Frankland.*

Bacillus luteus, *Flügge.* Kurzer Bacillus von mittlerer Dicke, anscheinend unbeweglich. Gelb gefärbte Colonien bildend. G. n. v.

Bacillus mesentericus fuscus, *Flügge.* Kleine, kurze, oft zu 2 und 4 aneinanderhängende, lebhaft bewegliche Bacillen; bilden regellos vertheilte, kleine glänzende Sporen. G. v.

Bacillus mesentericus vulgatus, *Flügge* (Kartoffelbacillus). Etwas dickere grössere Bacillen, mit wackelnder Bewegung, oft in fadenförmiger Anordnung. Bildung kugeliger Sporen. G. v. — K. F.

Bacillus muscoïdes, *Liborius.* Langsam bewegliche Bacillen, etwa 1 mikrom. dick, mit geringer Neigung zur Fadenbildung. G. n. v. — K. F.

Bacillus mycoïdes, *Flügge* (Erde- oder Wurzelbacillus). Grosse, dicke Stäbchen, die dadurch ausgezeichnet sind, dass sie auf der Gelatine-Platte Colonien bilden, die wie ein weitausgreifendes, vielfach verschlungenes Wurzelgeflecht aussehen. Der Bacillus ist eigenbeweglich und bildet endogene Sporen, welche oval und stark glänzend sind. G. v. — K. F.

Bacillus prodigiosus (Micrococcus prodigiosus, Monas prodigiosa, *Ehrenberg*). Sehr kleine Kurzstäbchen, meist unbeweglich. In längeren Verbänden bis zu 10 und mehr Gliedern vorkommend. Sporenbildung bisher nicht beobachtet. Unter Luftzutritt erzeugt der Bacillus einen schönen rothen Farbstoff. G. v.

Bacillus putrificus coli, *Bienstock* (Fig 23). Schlanke, lebhaft bewegliche Stäbchen, von etwa 3 mikrom. Länge, oft kürzer, häufig zu langen Fäden gereiht. Bei der Sporenbildung schwillt in der Regel das Stäbchen an dem einen Ende, seltener an beiden Enden kugelförmig an. Die Spore bleibt noch einige Zeit mit dem Stäbchen in Verbindung und macht mit diesem alle Bewegungen mit, wobei die Spore vorangeht. Später wird die stark lichtbrechende Spore unter allmählichem Verschwinden des Stäbchens frei und verlängert sich in geeigneten Nährlösungen nach und nach wieder zum Stäbchen. Hierauf scheinen sich zuerst aus dem neu entstandenen Stäbchen Ketten von sehr kurzen Stäbchen zu bilden, die dann zu längeren Gliedern und Fäden auswachsen. G. n. v. — K. F.

(1000)

Fig. 23.
Bacillus putrificus coli.
(Nach *Flügge.*)

Bacillus ramosus (Wurzelbacillus). Kurze Bacillen mit abgerundeten Enden, etwa dreimal so lang als dick, häufig Ketten und Fäden bildend, wenig beweglich. G. v. — K. F.

Bacillus saprogenes I, *Rosenbach* (Fig. 24). Ziemlich grosse Bacillen, an einem Ende eine grosse Spore bildend.

Bacillus scissus, *Frankland.* Unbewegliche dicke Stäbchen von variabler Grösse, dem B. prodigiosus ähnlich. G. n. v. — K. F.

Bacillus stolonatus, *Adametz-Wichmann.* 2½ mal so lange als dicke Stäbchen, lebhaft beweglich. G. n. v. — K. F.

Fig. 24.
Bacillus saprogenes. (Nach *Flügge.*)

Bacillus subtilis, *Ehrenberg*. Heupilz. (Fig. 25 u. 26.) Stäbchen cylindrisch. bis zu 6 mikrom. Länge, durchschnittlich etwa 3mal so lang als dick. Die Stäbchen zeigen unter gewissen Umständen lebhafte schlangenartige Bewegungen mit Hilfe von Geisseln, welche sich an einem oder beiden Enden derselben befinden.

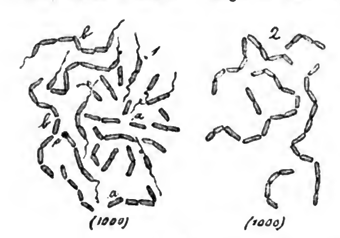


Fig. 25.
Bacillus subtilis. (Nach *Brefeld.*) 1. Schwärmende Stäbchen, a. einzeln und b. lose verbunden; c. mit anhängender Sporenhaut. 2. Vegetirende nicht schwärmende Stäbchen und Scheinfäden.

Wachsthum und Theilung gehen rasch vor sich; die Zeitdauer von einer bis zur nächsten Theilung ist bei 21° in ³/₄ Stunden, bei 35° zu 20 Minuten beobachtet. Sehr häufig entstehen Scheinfäden, welche bald durch ihre Verschiebung in zickzackförmige Einknickungen die Zusammensetzung aus Stäbchen deutlich zeigen, bald eine solche nicht erkennen lassen. Die einzelnen Glieder eines Fadens sind meist in den verschiedenen Stadien des Wachsthums und der Theilung begriffen und daher von differenter Länge.

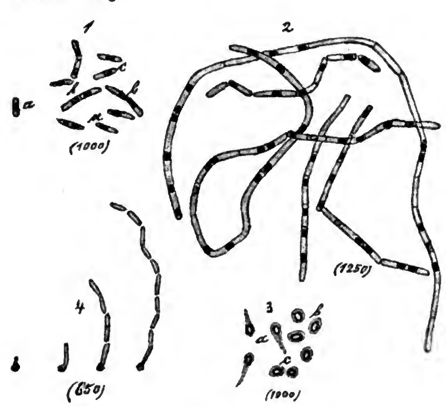


Fig. 26.
Bacillus subtilis. (Nach *Brefeld.*) 1. Bildung der Sporen. a. u. c. in den Stäbchen. b. bei den Scheinfäden. 2. Scheinfäden in Sporenbildung begriffen. In den Scheinfäden sind die Grenzen der Stäbchen nicht sicher zu sehen; die Sporenbildung ist eine vereinzelte und dazu möglichst ungleichzeitige in den Scheinfäden. 3. Reife Sporen. b. von der Seite, c. von oben gesehen. a. mit noch anhängenden Rudimenten des Stäbchens. 4. Auskeimung einer Spore bis zur Bildung eines Scheinfadens.

Die Sporenbildung wird eingeleitet durch Verarmung des Substrates an Nährstoffen. Vermehrung und Theilung der Stäbchen hören dann allmählich auf, die Stäbchen werden unbeweglich und in der Mitte oder am Ende der letzteren bildet sich endogen eine lichtglänzende, dunkelcontourirte Spore aus, welche unter allmäh-

lichem Verschwinden der Stäbchenhülle frei werden. Die Sporen besitzen eine Länge von 1,2 mikrom. und eine Breite von 0,6 mikrom.; von oben gesehen, erscheinen sie rund.

Bei der Keimung der Sporen reisst die derbe Hülle quer über die Mitte ein, bricht aber nicht vollständig auseinander, sondern bleibt an einer Stelle noch im Zusammenhang. Das junge Stäbchen tritt dann aus der klaffenden Lücke senkrecht zur Längsachse der Spore zu Tage. Bei der Weiterentwickelung des Stäbchens, selbst noch nach mehrfacher Theilung desselben, hängt die entleerte Sporenwand wie eine Blase an dem Stäbchen und begleitet dieses auf seinen Wanderungen. G. v. — K. F.

Bacillus terrigenus, *Frank*. Sporenbildender Bacillus von 0,6—1,8 mikrom. Länge, häufig auch Zoogloeaformen bildend. Fäden von wechselnder Länge, ca. 1 mikrom. dick. Unbeweglich. G. v. — K. F.

Bacillus thermophilus *(Miquel)*.

Bacillus ureae, *Leube*. Dicke Stäbchen mit abgerundeten Enden, von ca. 2 mikrom. Länge und 1 mikrom. Breite. Von *Leube* wurden noch zwei andere Bacillen gefunden, welche gleichergestalt den Harnstoff in kohlensaures Ammoniak zu verwandeln vermögen. Der eine Bacillus besteht aus dicken ovalen Stäbchen, von 1,2—1,5 mikrom. Länge und 0,7—0,8 mikrom. Dicke, der andere mit scharf abgeschnittenen Enden war 1,2—1,4 mikrom. lang und 0,6 mikrom. dick. G. n. v.

Bacillus ureae I, *Burri* (Fig. 27). Stäbchen 0,75 mikrom. dick und 10 bis 25 mikrom. lang, Beweglichkeit in jungen Culturen immer vorhanden, schlangen- und aalartig. G. v. — K. F.



Fig. 27.
Bacillus ureae I.

Bacillus ureae II, *Burri*. Stäbchen 0,9—1 mikrom. dick, von 2,5—4 mikrom. Länge. Ohne Beweglichkeit. Bildet unter gewissen Umständen Sporen. G. n. v. — K. F.

Bacillus ureae III, *Burri*. Stäbchen 0,9—1 mikrom. dick und 2—5 mikrom. lang. Oefter kurze Fäden bildend, die bis zu 5 Glieder enthalten. Beweglichkeit ist nicht immer und bei allen Culturen wahrzunehmen. Sie ist indessen entschieden vorhanden, namentlich in Harnstoff-Bouillon-Culturen. Bildet unter gewissen Umständen kugelige bis ellipsoidische Sporen. G. v. — K. F.

Bacillus viridis pallescens, *Frick*. Stäbchen von 2—3 mikrom. Länge und einem etwa 3—4mal geringeren Durchmesser, lebhaft beweglich. Häufig Fäden. G. n. v. — F.

Weisser Bacillus, *Eisenberg*. (Siehe B. albus.)

Wurzelbacillus. (Siehe Bacillus mycoides.)

Bacterium aërogenes, *Miller*. Bewegliche Kurzstäbchen, vereinzelt oder zu Paaren. G. n. v. — K. F.

Bodenbacterium I, *Adametz*. Stäbchen von 0,6—0,8 mikrom. Breite und einer Länge von 1,2—1,4 mikrom., meist zu Doppelstäbchen vereinigt. Scheinfäden oder Fäden nicht beobachtet. Schwache Eigenbewegung der Fäden vorhanden. Bildung von Zoogloea, sowie von einem blaugrünen, fluorescirenden Farbstoff. G. n. v. — F.

Bodenbacterium II, *Adametz*. Kurzer Bacillus mit abgestutzten Enden, häufig 2 bis 8 aneinandergelagert, ohne Eigenbewegung. Länge ca. 1,2 mikrom., Breite durchschnittlich 0,8 mikrom. G. n. v. — K. F.

Bacterium coli commune, *Escherich*. Darmbacillus. Kurze leicht gekrümmte Stäbchen von 1—5 mikrom. Länge und 0,3—0,4 mikrom. Dicke. Mit Bacillus denitrificans I in Symbiose Nitrate und Nitrite, unter Entbindung elementaren Stickstoffs, zerstörend. G. n. v. — F.

(650)

Fig. 28. Bacterium Lineola. (Nach *Cohn*.) Freibewegliche Form.

Bacterium lindolum, *Fodor*.

Bacterium Lineola (Fig. 28). Stark lichtbrechende, cylindrische, an den Enden etwas abgerundete Zellen von 3 bis 4 mikrom. Länge und 1,2—1,5 mikrom. Breite. Neben isolirten Bacillen findet man häufig Doppelstäbchen. Bildung von Scheinfäden nicht beobachtet. Inhalt der Zellen feinkörnig. Nach *Cohn* wird diese Körnung durch Ablagerung fettartiger Substanzen im Zellinhalt hervorgerufen. Bewegung der Stäbchen äusserst lebhaft.

Fig. 29. Bacterium merismopedioïdes. (Nach *Zopf*.) 1. Ein Faden, welcher Langstäbchen, Kurzstäbchen und Coccen gleichzeitig zeigt. 2. Ein Faden, der bereits überall in Coccen getheilt erscheint. 3. Ein Faden, dessen Coccen sich bereits verschieben und isoliren. 4. Isolirte Coccen eines solchen Fadens, zu einem unregelmässigen Häufchen vereinigt. 5—9. Successive Zustände der Bildung von Tafel-Colonien. 10. Mittelgrosse Colonie, aus 32 Tetraden (Gruppen von vier Zellen) bestehend.

Bacterium merismopedioïdes, *Zopf* (Fig. 29). Dieser Pilz bildet Fäden von verschiedener Dicke (1—1,5 mikrom). Dieselben gliedern sich in Längsstäbchen, dann in Kurzstäbchen und endlich in Coccen. Letztere werden durch gegenseitige Abrundung frei und gehen einen lebhaften Schwärmzustand ein. Zur Ruhe gelangt, bilden sie an der Oberfläche des Wassers durch fortgesetzte Theilung nach einer Richtung des Raumes Haufen, welche ein oberflächliches Häutchen bilden, später durch Theilung nach zwei Richtungen des Raumes die höchst charakteristischen Tafel-Colonien, mitunter aus 64 × 64 Zellen bestehend. Ihre Membranen vergallerten mit der Zeit. Bei dichter Lagerung der Colonien verschmelzen ihre Gallerthüllen mit einander und so entsteht eine continuirliche Tafelzoogloea, die stets an der Oberfläche des Wassers auftretend, eine dünne Kahmhaut darstellt. Die Coccen schwärmen unter geeigneten Nährverhältnissen aus den Tafelzoogloeen aus und entwickeln sich wieder zu Stäbchen und Fäden. Sporenbildung nicht bekannt *(Zopf)*.

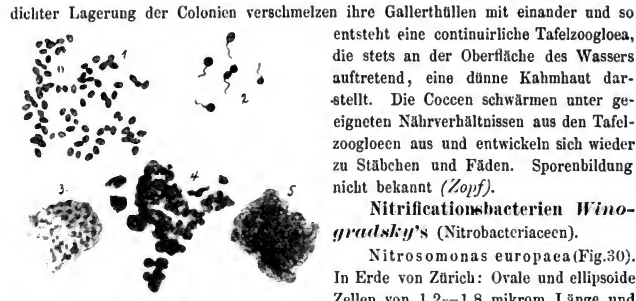


Fig. 30. Nitrosomonas europaea aus Züricher Erde. (Nach *Winogradsky*.) 1. Mikroben in Minerallösung cultivirt. 2. Mikroben im Schwärmzustande. 3—5. Zoogloeenformen. 1, 2, 3, 5 : 1000 fache Vergr. 4 : 125 Vergr.

Nitrificationsbacterien *Winogradsky*'s (Nitrobacteriaceen).

Nitrosomonas europaea (Fig. 30). In Erde von Zürich: Ovale und ellipsoide Zellen von 1,2—1,8 mikrom. Länge und 0,9—1 mikrom. Dicke. Bei energischem Wachsthum sind die Zellen mehr rundlich,

bei langsamem mehr länglich. Isolirt oder in Gruppen vereinigt. Die einzelnen Zellen mit einer kurzen spiralig gewundenen Geissel von $1\,^1/_2$ Umgängen versehen und lebhaft beweglich. Bildung von Zoogloeen. Jeder schädigende Einfluss bewirkt Zoogloeenbildung (unbewegliche Form), jeder fördernde Bildung von Schwärmzuständen. Sporenbildung unbekannt.

In Erde von Gennevilliers. Die Organismen waren nur durch ein etwas abweichendes Aussehen der Colonien von den Zürichern unterschieden.

In Erde von Kasan. Der Organismus dem Züricher ganz gleich, aber nur $^1/_2$ bis $^2/_3$ so gross. Von *Winogradsky* als eine Varietät des Züricher betrachtet.

In der Erde von Japan (Tokio) war nur eine Art enthalten, welche von der europäischen kaum verschieden ist.

In Erde aus Afrika (vier Proben) fand *Winogradsky* einen Organismus, welcher nur als Varietät des europäischen zu betrachten ist.

Nitrosomonas javanensis (Fig. 31). Aus Bodenproben von Buitenzorg (Java) kultivirt. Zellen nur 0,5—0,6 mikrom. Durchmesser, mit Geisseln bis zu 30 mikrom. Länge. Aber trotz der Länge der Geisseln sind die Zellen nicht sehr beweglich. Selbst im Schwärmzustande sind nicht alle Zellen isolirt, sondern zu Gruppen vereinigt. Colonien compact, zum Theil bei der Auflösung in sehr kleine Micrococcen, zum Theil in kleinere Colonien zerfallend.



Fig. 31.
Nitrosomonas javanensis aus Erde von Java. (Nach *Winogradsky*). 1. Mikroben aus einer nitrificirten Flüssigkeit. 2. Mikroben im Schwärmzustande. 3. Zoogloea im Zustand des Zerfalls.

Nitrosococcus. Gattung, welche die Organismen der neuen Welt umfasst. Den vorigen Arten ähnlich. Aus Erde von Quito erhielt *Winogradsky* durch Isolirung einen sehr grossen Coccus von 1,5 bis 1,7 mikrom. Durchmesser.

Nitrobacterium (Fig. 32). Gattung, welche diejenigen Organismen umfasst, welche die salpetrige Säure zu Salpetersäure oxydiren. Fig. 32 stellt das Salpeterferment dar, welches *Winogradsky* aus Erde von Quito in Nitratlösung züchtete.

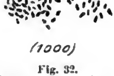


Fig. 32.
Nitrobacterium. (Nach *Winogradsky*.)

Bacterium termo, *Ehrenberg* (Fig. 33). Wurde früher als Erreger der Fäulniss angesehen und folgendermassen beschrieben: Kurzstäbchen, an den Enden abgerundet, 1,2—1,5 mikrom. lang, 0,5—0,7 breit, isolirt oder zu zweien verbunden, regellose dichte Haufen bildend, oder in Reihen geordnet, oder in dichter, traubig kugeliger Zoogloea. Lebhafte Eigenbewegung der Einzelindividuen, sowie der Doppelzellen. Heutzutage muss die Bezeichnung Bacterium termo nur als ein Sammelname für ein inconstantes Gemenge verschiedener Arten betrachtet und daher gänzlich fallen gelassen werden, weil die Beschreibung auf eine grosse Menge von jetzt bekannten Bacterien passt und der früher gewählte Name sich nicht mehr mit einer einzelnen der jetzt definirten Arten deckt *(Flügge)*.

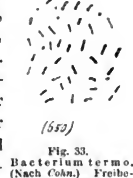


Fig. 33.
Bacterium termo. (Nach *Cohn*.) Freibewegliche Form.

Bacterium Zopfii, *Kurth*. Coccen, Stäbchen, Fäden. Letztere Schraubenknäuel bildend. Die aus dem Verbande losgelösten Stäbchen schwärmend. Jedes Stäbchen theilt sich weiterhin in zwei Coccen, die meist verbunden bleiben. Coccenklumpen (Zoogloea) von rundlicher Form, häufig in perlschnurartiger Anordnung. G. n. v. — K. F.

Bacterium Zürnianum, *List*. Unbewegliche Kurzstäbchen, an den Enden zugespitzt, 0,6—0,8 mikrom. dick und 0,2 bis 1,5 mikrom. lang. G. n. v. — K. F.



Fig. 34.
Proteus mirabilis. (Nach *Hauser*). Zoogloeaformen (95).

Clostridium butyricum, *Prazmowsky*. (Siehe Bacillus butyricus.)

Proteus mirabilis, *Hauser* (Fig. 34). Stäbchen von 0,6 mikrom. Breite und von sehr verschiedener Länge, theils fast runde, theils 2,0—3,75 mikrom. lange Stäbchen bildend. Eigenthümlich gewundene Zoogloeamassen. Häufiges Vorkommen von Involutionsformen, grosse kugelige oder birnförmige Gebilde. G. v.

Proteus vulgaris, *Hauser* (Fig 35). Stäbchen 0,6 mikrom. dick, von wechselnder Länge. Je nach den Ernährungsbedingungen Stäbchen kurz und nahezu kugelig, oder 1,25 bis 3,75 mikrom. lang, oder Fäden bildend. Letztere zuweilen geschlängelt und gewunden. Viele Stäbchen in lebhafter Bewegung; einige derselben lassen Cilien (Geisseln) wahrnehmen. Zoogloeenbildung. Häufig Involutionsformen, grosse, meist kugelförmige Gebilde. G. v.

Proteus Zenkeri, *Hauser*. Zellen von 0,4 mikrom. Breite und 1,65 mikrom. mittlerer Länge, theils mehr rundliche, theils mehr längliche Formen. Fäden, aus welchen Stäbchen ausschwärmen. Inseln aus Stäbchen und Fäden in Bewegung. Eigenthümlich gewundene Zoogloeamassen. G. n. v.



Fig. 35.
Proteus vulgaris. (Nach *Hauser*.) Schwärmende Inseln (285).



3. Spirillen.

Hierher werden alle jene Bacillen gerechnet, welche gekrümmt sind und schraubenartig gewundene Fäden bilden, die bei der Vermehrung durch Theilung neue Schrauben liefern und die meist beweglich und zu Schwärmen vereinigt sind.

Von den verschiedenen in diese Abtheilung gehörenden Arten kommen in landwirthschaftlicher Beziehung nur einige wenige in Betracht.

Spirillum Rugula (Fig. 36). (Vibrio Rugula, *Müller.*) Dünne, schwach schraubenförmig gekrümmte Stäbchen (6—8 mikrom. lang und 0,5—2,5 mikrom. breit), welche Schwärmfähigkeit besitzen und nach dem Aufhören der Bewegung zu gleichfalls schraubige Krümmung besitzenden Stäbchen auswachsen. Später schwellen die Stäbchen an, und ihr Inhalt wird reicher, worauf an einem Ende sich eine kugelige Anschwellung bemerkbar macht, in welcher sich durch Contraction des Plasmas eine kugelige Spore bildet. G. v.

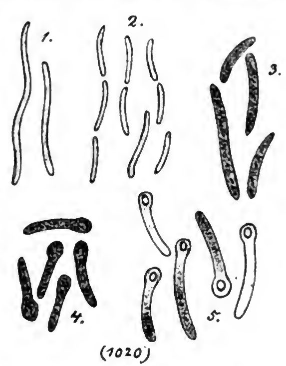


Fig. 36.
Spirillum Rugula. (Nach *Prazmowsky*). 1. Fäden. 2. Stäbchen, schwach gekrümmt. 3. Angeschwollene Stäbchen, zur Sporenbildung sich vorbereitend. 4. An einem Pole kopfförmig ausgeweitete Stäbchen, vor der Sporenbildung stehend. 5. Verschiedene Zustände der Sporenbildung.

Spirillum serpens (Vibrio serpens). Fig. 37. Stäbchen dünner (0,8—1,1 mikrom. breit und 11—20 mikrom. lang), 3—4 Wellenbiegungen, lebhaft beweglich, zuweilen in kettenförmiger Anordnung, oft in dichten Schwärmen.

Spirillum Undula (Fig. 37). Fäden, 1,1—1,4 mikrom. dick und 8—12 mikrom. lang, mit 1 ½—3 Windungen, an beiden Enden mit Geisseln versehen, sich lebhaft bewegend.

Spirillum volutans (Fig. 37). Die mit Geisseln und 2 ½—3 ½ Windungen versehenen Fäden, 1,5—2 mikrom. dick und 25—30 mikrom. lang, sind bald beweglich, bald unbeweglich.

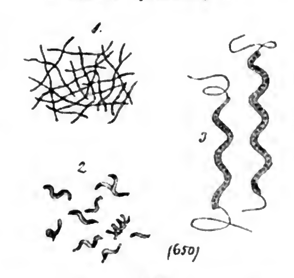


Fig. 37.
1. Spirillum serpens. 2. Spirillum Undula. (Nach *Flügge*.) 3. Spirillum volutans. (Nach *Cohn*.)

Spirochaete plicatilis (Fig. 38). Dünne Fäden mit zahlreichen engen Windungen, 110—225 mikrom. lang, sehr schnelle Bewegungen.

4. Spaltpilze mit variabler Wuchsform[1]).

In diese Gruppe gehören einige von *Zopf* näher untersuchte Wasserpilze, welche einen sehr mannigfaltigen Formenkreis aufzuweisen haben, indem sie sowohl in Mikrococcen- und Bacillen-, als auch in Spirillenwuchsform auftreten.

Crenothrix Kühniana, *Rabenhorst* (Fig. 39). Seine Coccen sind kugelig, 1—6 mikrom. gross. Sie vermehren sich durch successive Zweitheilung und sind dabei vereinigt zu Zoogloeen, die von mikroskopischer Kleinheit bis zur Grösse von über 1 cm heranwachsen, und sich in den Gewässern zu fusstiefen Schlammmassen ansammeln können. Anfangs farblos, kann die Gallerte durch

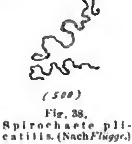


Fig. 38.
Spirochaete plicatilis. (Nach *Flügge*.)

[1]) Arthrospore Bacterien nach *de Bary*.

Einlagerung von Eisenoxydhydrat ziegelrothe bis braunschwarze Farbe annehmen. In Sumpfwasser cultivirt, wachsen die Coccen zu Stäbchen resp. Fäden aus, welche ungleiche Dicke und mit gewissem Alter eine continuirlich feste aber dünne Gallertschichte erhalten, mit den gleichen Eiseneinlagerungen wie die Gallerte der Zoogloeen. Innerhalb der Scheide gehen die stäbchenförmigen Einzelzellen durch fortgesetzte quere Zweitheilung in die Form etwa isodiametrischer Glieder über, die sich abrunden. An den dickeren Fäden erhalten die Glieder der Reihe oft flach scheibenförmige Gestalt und theilen sich dann durch Wände, welche in der Längsrichtung des Fadens stehen, in 2 bis 4 kleine Zellen. Sowohl diese letzteren als die gerundeten Glieder der dünneren Fäden werden schliesslich aus der Scheide befreit, als Coccen, theils durch Verquellung jener in ihrer ganzen Länge, theils durch Oeffnung der Scheide an der Spitze. In letzterem Falle gleiten die Coccen theils selbständig aus der Oeffnung hervor, theils werden sie passiv hinausgeschoben durch das Längenwachsthum der anderen noch in der Scheide steckenden Theile. Die Coccen können, relativ selten, in den beweglichen Zustand übergehen und aus diesem wieder in den der ruhenden Zoogloeen. Sie sind es, welche in der beschriebenen Weise wiederum zu Stäbchen und Fäden heranwachsen. Die Fäden, von welchen bisher die Rede war, sind ziemlich gerade. Ausser ihnen kommen aber auch spirillumartig gekrümmte vor, die auch in Stücke zerfallen können, ohne aber, nach den bisherigen Beobachtungen, in den beweglichen Zustand überzugehen *(de Bary)*.

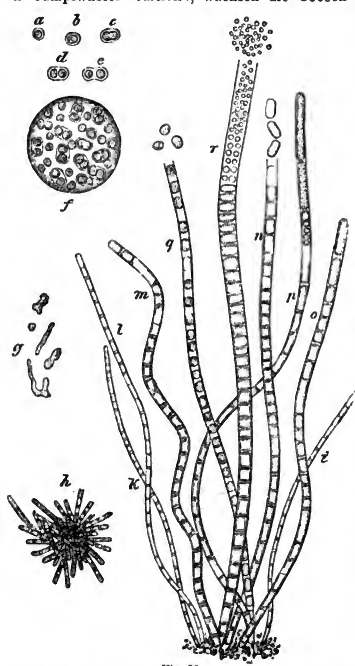


Fig. 39.
Crenothrix Kühniana. (Nach *Zopf.*) a—e. Coccen oder Sporen, c—e. in Theilung; f. durch Gallerte verbundene Coccenhaufen (Zoogloea), Contur zu dunkel gezeichnet. h. Haufen von Coccen, welche zu Fäden auswachsen. i—r. Fäden verschiedener Gestalt und Stärke, unten an einem Substrat befestigt; m—r zeigen die Bildung der gemeinsamen Scheide um die Einzelglieder; q. und n oben in Einzelglieder zerfallend; r. mit nach oben successive breiter und kürzer werdenden Gliedern, deren oberste durch Längstheilungen in runde Sporen (Coccen) zerfallen sind, welche oben aus der Scheide hervorkommen (600). g. Coccen-Zoogloeen. Nat. Gr.

Beggiatoa alba, *Vauch.* (Fig. 40 und 41). Bildet Fäden, welche im intacten Zustande festen Gegenständen vertical aufsitzen. Ihre Dicke ist sehr wechselnd und schwankt zwischen 1 und 5 mikrom. Sie bestehen aus einer einfachen Reihe von Zellen, deren Protoplasma in individuell verschiedenem Maasse stark lichtbrechende

Schwefelkörnchen, welche der Zersetzung der Sulfate durch die Pflanze ihren Ursprung verdanken, enthält. Bei sehr grossem Schwefelgehalt kann selbst die Erkennung der Gliederung schwierig werden. Die Fäden trennen sich leicht der Quere nach in Bruchstücke. Ihre Glieder gehen aus der gestreckten Stäbchenform successive in isodiametrische über; bei den dickeren Fäden dann weiter in die von flachen Scheiben, die sich endlich durch Längswände in 4 Quadranten theilen (Fig. 40, 6—8). Sowohl letztere als die isodiametrischen Glieder der dünnen Fäden trennen sich zuletzt (9), sich abrundend, von einander, treten dann in lebhaften Schwärmzustand (10) und kommen aus diesem zur Ruhe, indem sie sich an feste Gegenstände ansetzen. Sie vermehren sich lebhaft durch Zweitheilungen und bilden unregelmässig gestaltete Zoogloeenhäufchen. Sie können ferner zu Stäbchen und diese dann wieder zu den beschriebenen Fäden auswachsen, nachdem die Stäbchen selbst öfters ein Schwärmstadium durchgemacht haben *(de Bary)*.

Fig. 40.

Beggiatoa alba. (Nach *Zopf.*) 1. Gruppe festsitzender Fäden. 2—5. Verschieden starke Fadenstücke, 5 im Zerfall in Fragmente begriffen. Die dunkeln kleinen Kreise im Innern sind Schwefelkörner; in den Theilen der Fäden, wo sie reichlich vorhanden, ist die Quergliederung undeutlich, anderwärts tritt sie deutlicher hervor. 6—8 Schwefelreiche Fadenfragmente, nach Einwirkung von Methylviolettlösung die Quergliederung deutlich zeigend. In 8 auch Längstheilung einzelner Glieder (Coccenresp. Sporenbildung). 9. In Sporen zerfallener Faden. 10. bewegliche Sporenzustände. Die dunkeln Kreise überall Schwefelkörner. 1 : 540, 2—10 : 900 mal vergr.

Ausser den bisher betrachteten geraden Fäden wurden von *W. Zopf* auch solche mit schraubenförmiger Krümmung beobachtet. Die Fäden nehmen entweder am Ende oder intercalar oder in ihrem ganzen Verlauf Spiralform an (Fig. 41, A—G). Die durch Abknickung frei gewordenen Spiralstücke erlangen unter besonderen Verhältnissen Schwärmfähigkeit. Ihre Schwärmbewegung wird durch Cilien vermittelt, die einzeln an jedem Pole auftreten.

Die geraden wie die schraubigen, nicht im Schwärmzustande begriffenen Fragmente zeigen grosse Flexilität und kriechende Bewegungen. Die flexilen Fäden machen sehr energische, oft vielfach verschlungene Biegungen und erscheinen oft zierlich haarflechtenförmig (Spirulinenform) (*W. Zopf*).

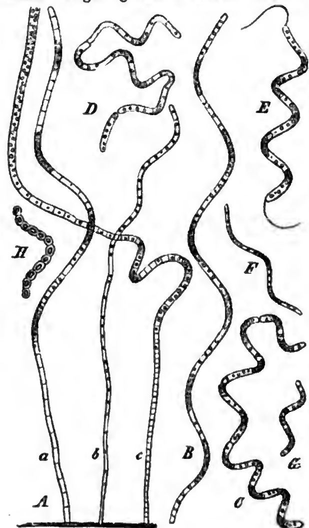


Fig. 41.
Beggiatoa alba. (Nach *Zopf.*) Krumme und schraubige Formen. A. Gruppe festsitzender Fäden. B—H. Schraubig gewundene Fadenstücke. C, D, F—H in weiterer Fragmentirung begriffen und unbeweglich. H. Mit deutlichen Einzelgliedern. E. Schwärmendes Stück (Spirillumform), mit einer Cilie an jedem Ende. Die Schwefelkörner hier wie in Fig. 40 (540).

Beggiatoa reseo-persicina, *Zopf* (Clathrocystis reseo-persicina, *Cohn*). Sie erzeugt dieselben Entwickelungsformen wie B. alba, nämlich: Coccen, Stäbchen, Fäden und Schrauben. In der Fadenform von B. alba nur durch die rothe Farbe (Bacteriopurpurin) unterschieden. Die in den Fäden gebildeten runden Coccen entwickeln sich durch fortgesetzte Zweitheilung zu Zoogloeen von mannigfaltigster Form. Die Colonien erscheinen bald wenig, bald stark vergallertet. In eisenhaltigen Wässern sind die Gallerthüllen durch Eisenoxydhydrat oft gelb gefärbt.

Aus den Coccen entwickeln sich in den Colonien unter gewissen Bedingungen Stäbchen, welche nicht selten vibrioartige Krümmung annehmen. Coccen und Stäbchen können nach dem Zerfliessen der Gallerthülle ausschwärmen. Die kürzeren Stäbchen wachsen zu längeren aus und bilden durch Aneinanderreihung Fäden, welche, wie bei B. alba, partielle oder totale Schraubenbildung zeigen können.

Cladothrix dichotoma, *Cohn* (Fig. 42). Sie bildet an festen Substanzen 1—3 mm hohe Räschen, sonst schwimmende Flocken. Die anfangs einfachen Fäden verzweigen sich, indem irgend eine Gliederzelle des Fadens mit ihrem einen Ende aus der Reihe seitlich ausbiegt und dann in der divergenten Richtung weiter wächst und sich quer theilt (Fig. 42). Wie bei Crenothrix enthalten die Fadenscheiden von Cladothrix Eisenoxydeinlagerungen und besitzen eine entsprechende Färbung. Die in eisenhaltigen Quellen und Wässern oft auffallenden Anhäufungen von ockerfarbigen Schlammmassen, deren fädige Bestandtheile unter dem alten Namen Leptothrix ochracea, *Kützing* bekannt sind, werden nach *Zopf* von solch eisenhaltiger Cladothrix gebildet.

Die Fäden vermehren sich theils aus abgebrochenen und dann weiter wachsenden Stücken, die selbstverständlich, je kleiner sie sind, um so kürzere „Stäbchen" darstellen, theils aus Sporen oder Coccen, d. h. kurzen abgerundeten Gliedern, welche aus der Scheide austreten und zu Fäden auswachsen.

Die Fäden oder einzelne Zweige derselben können, statt der gewöhnlichen ziemlich geraden, Schraubenform erhalten mit mehr oder minder engen und steilen Win-

dungen, und auch diese schraubenförmigen Formen können der Quere nach in Stücke zerfallen. Sowohl die längeren als die kürzeren stab- und schraubenförmig abgegliederten Stücke, als auch die runden Sporen und Coccen nehmen nicht selten Eigenbewegung an, die längeren Fadenstücke langsam kriechende oder gleitende, die kurzen lebhafte Schwärmbewegungen.

Faden-, Stab-, Schrauben- und Coccenformen können endlich vermischt oder jede für sich, durch Gallerte zu Zoogloeen vereinigt bleiben, die manchmal in Form stattlicher, strauchartig verzweigter Körper auftreten. Aus der Zoogloea können die kurzen Formen wiederum in beweglichem Zustand ausschwärmen; nicht minder können dieselben wiederum zur Fadenform heranwachsen; für die schraubigen Stäbe scheint letzteres allerdings nicht direct beobachtet zu sein *(de Bary)*.

Neben den beschriebenen giebt es eine Reihe von krankheiterregenden (pathogenen) Bacterien, welche gleichergestalt unter Umständen, besonders im Boden, an den Zersetzungsvorgängen betheiligt zu sein scheinen.

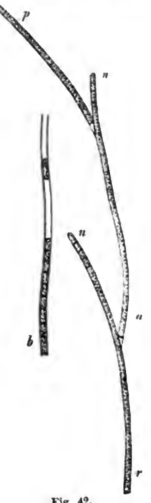


Fig. 42.
Cladothrix dichotoma. (Nach *de Bary*.) a. Ende eines lebenden Fadens. Derselbe wuchs ursprünglich in der Richtung r—p. Durch seitliche Ausbiegung und nachheriges divergentes Weiterwachsen von Gliederzellen sind die Aeste n n entstanden. Im Scheitel dieser ist der Aufbau aus cylindrischen Gliederzellen deutlich, sonst ohne Einwirkung von Reagentien nicht zu erkennen. b. Fadenstück mit deutlicher Gliederung und Scheide; letztere ist in der oberen Hälfte, bis auf eine darin steckende cylindrische Zelle, entleert. (600) Etwas zu breit gezeichnet.

V. Verbreitung und Vorkommen der Mikroorganismen der Zersetzungsvorgänge.

Für die ausserordentliche Verbreitung der bei der Zersetzung organischer Stoffe betheiligten Organismen an der Erdoberfläche spricht die Thatsache, dass überall die pflanzlichen und thierischen todten Materialien dem Zerfall unterliegen, welcher, wie oben dargethan, ohne Mithilfe jener Organismen nicht stattfinden kann. Die Massenhaftigkeit ihres Auftretens im concreten Fall ist indessen von den jeweils gebotenen Lebensbedingungen sowie von den Anforderungen der Organismen an dieselben wesentlich mit abhängig. Daher kann es nicht Wunder nehmen, dass an gewissen Oertlichkeiten die Zahl der Organismen nicht allein eine sehr verschiedene ist, sondern auch einem ausserordentlichen Wechsel unterliegt. Dazu kommt, dass sich die verschiedenen Organismen gegenüber ungünstigen Vegetationsbedingungen (Austrocknung, höhere Temperatur, Erschöpfung des Nährmaterials) verschieden resistent verhalten und dass unter gewissen Bedingungen ein Transport auf mehr oder weniger grosse Entfernungen stattfindet, wie z. B. durch Luftströmungen, fliessendes Wasser, Thiere u. s. w. Umstände solcher Art bewirken im Verein mit der enormen Vermehrungsfähigkeit der niederen Organismen, dass letztere einerseits unter bestimmten Verhältnissen in ungeheurer Zahl, unter anderen Bedingungen dagegen nur in wenigen Individuen oder gar nicht angetroffen werden. Der Eintritt der an das Vorhandensein bestimmter Species geknüpften Zersetzungserscheinungen ist jedoch nicht an die Zahl der Organismen geknüpft, weil selbst in dem Fall, wo nur ein einziges lebensfähiges Individuum vorhanden ist, durch massenhafte Ver-

mehrung desselben die zu einer intensiven Unterhaltung des betreffenden Processes erforderliche Zahl von Organismen in kürzester Frist heranwachsen kann.

Im Speciellen haben die Untersuchungen über das Vorkommen der nichtpathogenen Organismen, die hier vor Allem in Betracht kommen, zu Resultaten geführt, welche für die Beurtheilung verschiedener einschlägiger Fragen von Wichtigkeit sind und daher an dieser Stelle in Kürze zusammengefasst werden mögen.

I. Die Mikroorganismen der Luft.

Unter den Arbeiten, welche die Feststellung der in der atmosphärischen Luft vorkommenden Keime zum Gegenstand hatten, verdienen unstreitig jene von *P. Miquel*[1]) wegen ihrer Ausführlichkeit und streng wissenschaftlichen Methode die meiste Berücksichtigung. Die bezüglichen Untersuchungen wurden im Park von Montsouris bei Paris vornehmlich angestellt und auch auf einige Stellen innerhalb der Stadt ausgedehnt.

Im zehnjährigen Mittel betrug die Zahl der Bacterien in 1 cbm Luft:

Park von Montsouris (ausserhalb der Stadt) . . . **300**

Platz Saint Gervais (innerhalb der Stadt) . . . . **5445.**

Die Abweichungen vom Mittel in den einzelnen Monaten resp. Jahreszeiten lassen durchschnittlich ganz bestimmte Gesetzmässigkeiten erkennen, welche sich in folgenden Zahlen ausprägen.

	Zahl der Bacterien pro cbm Luft (im 10jährigen Mittel).	
	Park von Montsouris	Platz Saint Gervais.
Januar	185	3074
Februar	160	3648
März	195	4116
April	305	4456
Mai	310	5874
Juni	335	6741
Juli	535	8006
August	555	8256
September	409	7475
October	240	5245
November	190	4639
December	155	3816
Jahr	300	5445

Hiernach trat im Durchschnitt der grösste Reichthum der Luft an Bacterien im Monat August auf, das Minimum im December resp. Januar. Ordnet man die Resultate nach Jahreszeiten, so zeigt sich überhaupt, dass die Atmosphäre in der wärmeren Periode bedeutend grössere Bacterienmengen enthält als in der kälteren. Ungleich geringeren Schwankungen ist der Gehalt an Schimmelpilzen, die überhaupt spärlicher

[1]) *P. Miquel.* Les organismes vivants de l'atmosphère. Paris 1883. *Gauthier-Villars.* — Ferner: Annuaire de l'observatoire de Montsouris. Verschiedene Jahrgänge. — Die Mikroorganismen der Luft. Von *P. Miquel.* Uebersetzt von *E. Emmerich.* München 1889. *M. Rieger.*

als die Bacterien in der atmosphärischen Luft auftreten, ausgesetzt, wie folgende Uebersicht darthut.

Mittlerer Gehalt der Luft an niederen Organismen pro cbm.

Jahreszeiten.	Park von Montsouris		Platz Saint Gervais	
	Bacterien.	Schimmelpilze.	Bacterien.	Schimmelpilze.
Winter	180	190	3613	1420
Frühling	315	145	5691	1515
Sommer	500	225	7912	2090
Herbst	195	255	4566	1690
Jahr	**300**	**205**	**5445**	**1680**

Aus den mitgetheilten Zahlen wird gefolgert werden können,

1) dass die in der Luft vorkommenden Organismen, abgesehen von Nebenumständen, vornehmlich aus Spalt- und Schimmelpilzen bestehen, von welchen die ersteren überwiegen.

2) dass die Landluft (Montsouris) bedeutend ärmer an Mikroorganismen ist als die Luft in den Städten.

3) dass der Reichthum der atmosphärischen Luft an Mikroorganismen im Mittel gesetzmässigen Schwankungen unterliegt, welche zunächst in der Weise in die Erscheinung treten, dass der Gehalt der Atmosphäre an Spalt- und Schimmelpilzen während der wärmeren Jahreszeit beträchtlich grösser ist als während der kälteren.

Diese Schwankungen sind dadurch bedingt, dass unter sonst gleichen Umständen die Vermehrung der Organismen mit der Temperatur gleichen Schritt hält und daher bei höherer Temperatur in ungleich stärkerem Maasse gefördert ist als bei niederer, derart, dass in dem ersteren Fall eine grössere Zahl derselben in die Atmosphäre überzutreten vermag als im letzteren. Ausserdem wird zur Erklärung der betreffenden Gesetzmässigkeiten der Umstand mit heranzuziehen sein, dass während der kälteren Periode der Boden meist feucht und mit einer Schneedecke versehen ist, wodurch der Uebertritt der Mikroorganismen in die Luft in bedeutenderem Grade erschwert ist als während der wärmeren Jahreszeit, wo der Boden resp. die auf der Erdoberfläche befindlichen im Zerfall begriffenen organischen Substanzen öfter abtrocknen und in diesem Zustande den auf Fortführung der Organismen gerichteten Einwirkungen weniger Widerstände entgegensetzen.

Die mitgetheilten Gesetzmässigkeiten treten indessen nur in den aus längeren Beobachtungsperioden abgeleiteten Mittelwerthen in die Erscheinung und verschwinden mehr oder weniger in einzelnen Zeitabschnitten in Folge des Ueberwiegens gewisser äusserer und örtlicher Einflüsse.

In ersterer Beziehung ist der Wechsel von Feuchtigkeit und Trockenheit für die Menge der in der Luft auftretenden Organismen von besonderem Belang und ganz allgemein lässt sich diese Einwirkung nach den Beobachtungen *Miquel*'s[1]) dahin präcisiren, 1) dass die Zahl der Bacterien in der Luft, welche in Niederschlagsperioden klein ist, sich beträchtlich erhöht, wenn während der Trockenperiode alle Feuchtigkeit von der Oberfläche des Bodens verschwunden ist, 2) dass die Schimmelpilze sich entgegengesetzt verhalten.

[1]) Les organismes vivants etc. p. 216 u. p. 60.

Zur Erklärung dieser Thatsachen weist *Miquel* darauf hin, dass die Bacterien den feuchten Medien, in welchen sie sich vermehren, capillar, durch Adhäsion, sowie durch Gallertbildungen fest anhaften, so dass sie von den Winden nicht fortgetragen werden können, und dass dies erst dann ermöglicht ist, wenn die Substrate einer oberflächlichen Austrocknung unterliegen. Das entgegengesetzte Verhalten der Schimmelpilze wird von *Miquel* darauf zurückgeführt, dass diese an der Oberfläche vegetirenden Organismen nur bei dem Vorhandensein von Feuchtigkeit lebhaft fructificiren und dass die Sporen deshalb bei feuchter Witterung in grösserer Menge und um so leichter in die Atmosphäre übertreten können, als die Fruchtträger sich oberirdisch entwickeln, während die in Rede stehenden Organismen während Trockenperioden absterben oder sich nur schwach fortzuentwickeln vermögen.

Bei dem ausgesprochenen Einfluss, den Temperatur und Feuchtigkeit auf die Zahl der Organismen in der Luft ausüben, wird es begreiflich, dass diese beiden Factoren je nach ihren Wechselbeziehungen zu einander eine sehr verschiedene Wirkung hervorrufen werden. Diese lässt sich nach *Miquel* etwa folgendermaassen charakterisiren:

		Bacterien.	Sporen der Schimmelpilze,	
			junge.	alte.
Warme Jahreszeit	feuchte Witterung	selten	zahlreich	selten
	trockene Witterung	zahlreich	selten	häufig
Kalte Jahreszeit	feuchte Witterung	selten	selten	selten
	trockene Witterung	häufig	Null	häufig.

Von hervorragendem Einfluss auf den Gehalt der atmosphärischen Luft an Mikroorganismen erweist sich weiters der Wind, sowohl hinsichtlich seiner Stärke, als auch in Bezug auf seine Richtung. Die Wirkung desselben auf die Bacterienmenge ist in dem Falle nur eine schwache, wo der Boden und die aufliegenden organischen Substanzen feucht sind; sie nimmt aber zu in dem Grade eine oberflächliche Austrocknung der Erdoberfläche stattfindet und wächst gleichzeitig unter solchen Umständen mit der Stärke des Windes.

Ebenso ist die Windrichtung von Belang, falls benachbarte Oertlichkeiten an sich einen verschiedenen Bacteriengehalt besitzen. So zeigte die Untersuchung[1]) der Luft des Observatoriums von Montsouris, welches ausserhalb und südlich von Paris gelegen ist, dass die vom Lande wehenden Winde, also jene aus südlicher, südwestlicher, südöstlicher Richtung, die Menge der Mikroben nicht unwesentlich herabdrückten, während jene aus nördlicher, d. h. die von der Stadt herkommenden andererseits den Gehalt der Luft an Bacterien vermehrten, wie folgende Zahlen hinlänglich darthun.

Windrichtung:	N	NW	W	SW	S	SO	O	NO
Zahl der Mikroben in einem cbm:	124	108	77	58	42	74	134	152.

Dieser Einfluss der Windrichtung ist natürlich verschieden je nach der Lage der betreffenden Oertlichkeiten zu einander.

Die durch den Wind fortgeführten Mikroorganismen werden, wenn derselbe zur Ruhe gelangt, zum Theil abgesetzt, ein Vorgang, der sonach wesentlich zur Verminderung des Gehaltes der Luft an Organismen beiträgt und überall sich geltend macht, wo die Geschwindigkeit der Luftbewegung durch Gegenstände, welche

[1]) Les organismes vivants etc. p. 219.

derselben ein Hinderniss darbieten, herabgedrückt wird. Letzteres ist u. A. bei den Wäldern der Fall, welche die Windstärke in einem beträchtlichen Grade herabzumindern vermögen. Versuche, welche den Einfluss des Waldes auf die Menge der in der Luft vorkommenden Organismen feststellen sollten, wurden von *A. Serafini* und *J. Arata*[1]) in einem Wäldchen der Villa Medici bei Rom nach der Methode von *Strauss* ausgeführt, und zwar in der Weise, dass die Luft vom 6. Mai bis 8. Juli täglich 30—40 m vom Rande des Wäldchens, im Dickicht, sowie am Eingang untersucht wurde. Im Mittel ergab sich:

	Zahl der Mikroorganismen pro cbm Luft	
	ausserhalb des Waldes.	Innerhalb des Waldes.
Schimmelpilze	2670	1726
Bacterien, Gelatine verflüssigend . . .	4914	4786
Bacterien, Gelatine nicht verflüssigend .	2327	1198.

Im Durchschnitt war sonach die Waldluft ärmer an Mikroorganismen als die Luft im Freien. Zuweilen war zwar die Zahl der Bacterien und Schimmelpilze im Walde grösser als am Eingange desselben, eine Erscheinung, die sich aus dem Umstande erklärt, dass im Walde sich solche bilden können, aber in der Mehrzahl der Fälle fand das Umgekehrte statt. Ein einziges Mal erreichten alle drei Kategorien die Mehrzahl im Walde; in den 39 anderen Fällen waren immer eine oder zwei Kategorien am Eingang des Waldes zahlreicher als im Innern desselben, und zwar die nicht verflüssigenden Bacterien 28, die verflüssigenden 23 und die Schimmelpilze 25 mal. In 8 Analysen erscheinen alle drei Kategorien ausserhalb des Waldes zahlreicher als innerhalb desselben. Nur in drei Fällen hat sich an beiden Oertlichkeiten die gleiche Zahl von Organismen ergeben (3 mal bei den Schimmelpilzen, 2 mal bei den Bacterien). Offenbar sind die Ursachen dieser Resultate in der filtrirenden Wirkung des Waldes zu suchen, um so mehr als der letztere selbst eine Quelle für die Mikroorganismen abgiebt. Die genannten Forscher glauben daher berechtigt zu sein, aus ihren Beobachtungen die Schlussfolgerung ableiten zu dürfen, dass die Wälder auf die vom Winde fortgetragenen Organismen eine Art filtrirende Wirkung ausüben.

Dieses Ergebniss bietet nichts Befremdliches, wenn man erwägt, dass die Mikroorganismen an den Bäumen grossen Hindernissen begegnen und dass die Kraft des Windes an den Bäumen gebrochen wird, wodurch die Organismen zum Niederfallen gezwungen werden. Sie bleiben dann am Boden liegen, sei es aus Mangel einer neuen Kraft, welche sie emporhebt, sei es der Feuchtigkeit des Bodens halber. Wahrscheinlich werden die betreffenden Unterschiede grösser ausfallen, wenn der Wind stärker und die Wälder ausgedehnter sind.

Hinsichtlich des Einflusses der Oertlichkeit auf das Vorkommen der Organismen in der Luft wurde bereits oben ausgeführt, dass die Luft im Allgemeinen mit um so grösseren Mengen von Organismen versehen ist, je lebhafter unter sonst gleichen Verhältnissen die Zersetzungsprocesse an der betreffenden Localität vor sich gehen, und zunächst der Nachweis geliefert, dass demgemäss die Stadtluft ungleich reicher an Organismen ist als die Landluft. Die in abgeschlossenen, besonders in be-

---

[1]) Bolletino della R. Accademia medica di Roma. Anno XVI. 1889—90. Fasc. VIII. Roma 1890.



wohnten Räumen enthaltene Luft weist in dieser Richtung noch beträchtlich höhere Ziffern auf, denn während z. B. nach *Miquel*[1]) die Bacterienmenge der Luft in der Rue de Rivoli (im vierjährigen Mittel) 3480 betrug, stellte sich dieselbe in den Laboratoriumsräumen von Montsouris (1884) auf 7420, in alten Pariser Häusern (1881—1882) auf 36000, im neuen Hotel-Dieu in Paris (1880) auf 40000 und im Hospital de la Pitié (1882) auf 79000. Weit weniger scheint die Luft in den Cloaken beinflusst zu werden, die zwar zuweilen etwas mehr Bacterien, unter gewissen Umständen aber weniger davon enthält als die Luft im Freien. So fand beispielsweise *Miquel*[2]) im Jahre 1891:

	Mittlerer Gehalt der Luft pro cbm.			
	Cloakenluft.		Luft im Centrum von Paris.	
	Bacterien.	Schimmelpilze.	Bacterien.	Schimmelpilze.
Winter	4085	1835	5730	2525
Frühling	2125	10615	9235	3515
Sommer	7555	5000	15310	1835
Herbst	5615	1360	7225	1840
Mittel	4845	4705	9375	2430

Wie man sieht, war die Luft der Kanäle ärmer an Bacterien, dagegen aber im Frühling und Sommer bedeutend reicher an Schimmelpilzen als jene im Freien. Im jährlichen Mittel hatte erstere bezüglich der beiden Kategorien von Organismen ein beinahe identisches Resultat ergeben, während in der letzteren die Schimmelpilze gegenüber den Bacterien entschieden zurücktraten.

Von ausserordentlicher Reinheit zeigte sich die Meeres- und Bergluft. Die an Bord des «Senegal» auf Veranlassung von *Miquel*[3]) an der Küste von Brasilien, von Afrika, den kanarischen Inseln und im Golf von Gascogne ausgeführten Beobachtungen ergaben insgesammt in 112855 Litern Luft 102 Bacterien, was einem mittleren Gehalt von einem Pilzkeim pro cbm entspricht. Bei Berücksichtigung derjenigen Untersuchungen, welche wenigstens 100 km vom Lande vorgenommen wurden, fällt dieser Gehalt auf **0,6**; bei geringerer Entfernung vom Lande wurden hingegen **1,8** Keime gefunden.

Die Gebirgsluft erweist sich von ähnlicher Beschaffenheit wie die Meeresluft. *Von Freudenreich*[4]), welcher die Luft in den Berner und italienischen Alpen in Höhen von 2000—4000 m untersuchte, fand in den Jahren 1883—1884 durchschnittlich nur **1** Bacterium pro 1 cbm Luft, wohingegen die Luft in Bern 3—400 in der gleichen Quantität enthielt. Diese Thatsache scheint dafür zu sprechen, dass der Gehalt an Organismen in der Luft mit der Höhe sich vermindert, eine Annahme, welche durch die Beobachtung *Miquel*'s, dass die Atmosphäre auf dem Gipfel des Pantheon in Paris eine wesentlich geringere Menge von Bacterien enthielt als jene im Park von Montsouris, eine Stütze findet.

Schliesslich sei der Vollständigkeit wegen noch die Beobachtung *Miquel*'s angeführt, dass die Luftbacterien bestimmten täglichen Schwankungen unterliegen, welche sich in dem Auftreten zweier Minima (2—3 Uhr Morgens und 2—3 Uhr Nachmittags) und

[1]) Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour l'an 1885. p. 504.
[2]) Ebenda. Pour les années 1892—93. p. 471.
[3]) Ebenda. Pour l'an 1886. p. 547.
[4]) Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour l'an 1885. p. 501.

zweier Maxima (7—8 Morgens und gegen 8 Uhr Abends) documentiren und, wie besonders nachgewiesen wird, weder durch äussere Einflüsse (meteorologische Elemente), noch durch örtliche, sondern durch noch unbekannte Ursachen hervorgerufen werden.

Was die Natur der Organismen in der atmosphärischen Luft anlangt, so lässt sich nach den bisherigen diesbezüglichen Beobachtungen annehmen, dass in derselben alle drei der oben unterschiedenen Hauptgruppen (Schimmel-, Spross- und Spaltpilze) vertreten sind, allerdings in verschiedenem Grade. Am seltensten werden die Sprosspilze speciell die Saccharomyceten[1]) angetroffen, während die Schimmel- und Spaltpilze den Hauptbestandtheil derjenigen Lebewesen in der Luft ausmachen, welche bei der Zersetzung der organischen Stoffe betheiligt sind[2]), und zwar, wie die Untersuchungen von *P. Miquel* darthun, die letzteren in höherem Grade als die ersteren.

Unter den Schimmelpilzen sind die gewöhnlichen Arten (Mucor, Penicillium, Apergillus, Oïdium lactis u. s. w.) in grosser Zahl durch ihre Sporen in der Luft vertreten und weit verbreitet. Von den nur sehr spärlich, wenngleich überall vorhandenen Sprosspilzen sind die Saccharomyceten am seltensten, etwas häufiger Monilia und Torula; die ersteren sind in höherem Grade durch Saccharomyces ellipsoideus, S. glutinis, S. Pastorianus, S. mycoderma, S. apiculatus als durch S. cerevisiae repräsentirt. Die Spaltpilze der Luft kommen in allen vier, oben näher bezeichneten Gruppen vor, unter welchen nach *Miquel* die Micrococcen den ersten Rang einnehmen, dann folgen die Bacillen, wohingegen die Spirillen und die Spaltpilze mit variabler Wuchsform äusserst selten oder gar nicht vorkommen. Durch ihr frequentes Auftreten in der Luft sind ausgezeichnet: Micrococcus ureae, M. ureae liquefaciens, M. cinnabareus, M. flavus liquefaciens, M. flavus desidens, M. versicolor, M. aurantiacus, Bacillus butyricus, B. subtilis, B. prodigiosus, B. ureae, B. erythrosporus, B. fluorescens liquefaciens, B. luteus, B. mesentericus fuscus, B. mesentericus vulgatus u. s. w. Seltener und weniger verbreitet kommen vor: Bacillus aceti, B. acidi lactici.

2. Die Mikroorganismen der Wässer.

a) Die atmosphärischen Wässer.

Die meteorischen Wässer sind immer mehr oder weniger reichlich mit Bacterien und Schimmelpilzen versehen, wie die Versuche von *Miquel*[3]) deutlich darthun. In dem im Park von Montsouris aufgefangenen Wasser waren pro Liter enthalten:

Monat.	1883.	1884.	1885.	Mittel.
Januar	—	—	8000	8000
Februar	—	1850	0790	1320
März	—	3830	2000	2920
April	—	3700	4580	2140

[1]) *E. C. Hansen.* Mittheilungen aus dem Carlsberger Laboratorium. Heft II. S. 1. Wien 1880. *G. Gistel u. Comp.* — Meddelser fra Carlsberg Laboratoriet. Fjerde Hefte u. Zeitschrift für das gesammte Brauwesen. Neue Folge. V. Jahrgang. 1882. S. 208, 226 und 247.

[2]) Ausserdem kommen noch in der Luft die Sporen zahlreicher anderer Pilze, der Pollen höherer Pflanzen u. s. w. vor.

[3]) a. a. O.

Monat.	1883.	1884.	1885.	Mittel.
Mai	—	2480	2400	2440
Juni	—	5500	5700	5600
Juli	—	—	—	—
August	—	—	8300	8300
September	—	6980	4560	5770
October	3800	3560	2300	3220
November	1000	5500	—	4330
December	1250	7420	—	—
Jährl. Mittel:	—	4540	4200	4300

Im Grossen und Ganzen waren hiernach die Regenwässer während der wärmeren Jahreszeit reicher an Bacterien als wie während der kälteren. Der Gehalt an Mikroben kann innerhalb weiter Grenzen, zwischen 300 und 20000 pro Liter schwanken, d. h. für den Fall, wo das Wasser nach einem ergiebigen Platzregen gesammelt und die Atmosphäre gereinigt wurde. Unter allen übrigen Umständen, in dem ersten bei einem Gewitter oder nach langer Trockenheit aufgefangenen Wasser ist die Zahl der Bacterien eine ungleich grössere und dieselbe kann 200000 und darüber pro Liter betragen.

Auf 100 im meteorischen Wasser gefundenen Mikroben kommen im Durchschnitt 60 Micrococcen, 25 Bacillen und 15 Bacterien. Im Einzelfalle ist jedoch das Verhältniss ein sehr wechselndes, wie z. B. folgende Zahlen zeigen:

	Micrococcen.	Bacillen.	Bacterien.	Total.
3. April	55	35	10	100
4. April	15	85	0	100.

Die Sporen der gewöhnlichen Schimmelpilze sind gleichergestalt sehr reichlich in dem Wasser der Niederschläge vertreten. Die Zahl dieser Keime ist im Mittel zu 4000 pro Liter zu veranschlagen, wodurch die Menge der in einem Cubikcentimeter enthaltenen lebensfähigen Mikroorganismen auf 8 wächst.

Nach vorstehenden Daten führen die jährlichen Niederschläge in Montsouris bei einer Höhe von 600 mm auf die Fläche von einem Quadratmeter dem Boden über 4500000 Organismen zu.

Durch diese Beobachtungen wird der Nachweis geliefert, dass die atmosphärischen Niederschläge den Gehalt der atmosphärischen Luft an Organismen herabsetzen, in gewissem Sinne auf diese eine reinigende Wirkung ausüben und dass sie zum Theil der Erdoberfläche die Pilzkeime wieder zuführen, welche von derselben, besonders während trockener Witterung, in die Atmosphäre durch die Winde und Luftströmungen emporgehoben wurden.

b) Die Quell- und Flusswässer.

Die Quellwässer dürften, soweit dieselben direct aus dem Grundwasser herstammen, im Vergleich zu den Bach-, Fluss- und- Teichwässern zu denjenigen gehören, welche die geringste Menge von Mikroorganismen enthalten. Dies wird aus dem Umstande gefolgert werden können, dass die in die Tiefe des Erdreiches absickernden Wässer durch den Boden des grössten Theils der in ihnen enthaltenen Bacterien beraubt werden und dass die Bodenschichten, in denen das Grundwasser auftritt, keimfrei sind. Für das ausserordentliche Reinigungsvermögen des Bodens spricht u. A. die von *Miquel* constatirte Thatsache, dass das Wasser der Marne

bei dem Passiren eines mit filtrirenden Materialien (Drain von St. Maur) des grössten Theiles seiner Mikroben beraubt wurde, wie dies aus folgenden Daten erhellt:

Jahreszeiten.	Bacterien in einem Cubikcentimeter: Marne.	Drain von St. Maur.
Winter	94855	3815
Frühling	35605	1905
Sommer	21615	1065
Herbst	82130	2720
Jahr	58550	2375

Die von *Miquel* als Quellen bezeichneten, aus der Vanne und Dhuis entnommenen Wässer, welche in den Bassins von Montrouge und Ménilmontant aufgespeichert werden und die Wasserleitung von Paris versorgen, besitzen bei einem sehr welchselnden Gehalt im jährlichen Durchschnitt:

	Bacterien in einem Cubikcentimeter: Vanne	Dhuis
Reservoir	1240	2900
Canal	2565	3615

Diese Menge ist beträchtlich grösser als jene in den meteorischen Wässern.

Die Flusswässer sind jedoch noch bedeutend reicher an derartigen Organismen, wie aus den bezüglichen Beobachtungen von *Miquel* geschlossen werden darf. Dieser fand:

Bacterien in einem Cubikcentimeter:

Monat	Seine bei Ivry	Seine an der Austerlitz-Brücke	Seine bei Chaillot	Marne bei St. Maur	Ourcq
Januar	55500	63345	241510	71590	142525
Februar	90590	111515	249075	103125	113865
März	78230	96870	226425	109845	98310
April	69260	61410	110100	40835	57125
Mai	37310	60280	91020	45210	79370
Juni	46300	62985	126875	20765	14135
Juli	18810	34900	92750	36150	19690
August	17985	31450	172500	18560	11375
September	23085	92405	249750	10140	13290
October	24450	50245	258875	27440	54395
November	45575	65440	158750	126700	135025
December	165125	150170	153875	92250	179625
Jahresmittel	**56185**	**73500**	**177625**	**58550**	**76545**

Aus diesen Zahlen lässt sich erkennen, dass die Flusswässer einen hohen Gehalt an Bacterien besitzen, der bei dem Durchfliessen durch eine volksreiche Stadt stetig zunimmt (Seine von Ivry bis Chaillot), sowie ferner, dass der Reichthum an Mikroben ein Minimum im Sommer und ein Maximum im Winter aufweist.

c) Cloaken- und Kothwässer.

In den in den unterirdischen Canälen fortgeführten Wässern (Cloakenwässern) steigt der Bacteriengehalt ins Ungeheuerliche. Lezterer wurde von *Miquel* an Proben

untersucht, welche an der Mündung der Sammler von Saint-Ouen und Clichy in Paris entnommen waren. Die dabei gewonnenen Resultate weist die folgende Tabelle nach:

Jahreszeiten.	Bacterien in einem Cubikcentimeter: 1891.	Jahresmittel.
Winter	28170000	19870000
Frühling	17330000	19330000
Sommer	25170000	16635000
Herbst	17670000	9220000
Jahresmittel	22585000	16270000

Auf 100 Organismen kommen je 40 Micrococcen und Bacterien und 20 Bacillen.

Trotz der ausserordentlichen Verunreinigung dieser Wässer werden dieselben, wenn sie den Boden passiren, sehr schnell gereinigt, was aus dem Umstande geschlossen werden darf, dass die von den Rieselfeldern abfliessenden Drainwässer einen vergleichsweise sehr geringen Gehalt an Bacterien besitzen. In Genevilliers beobachtete *Miquel* beispielsweise folgende Mengen pro Cubikcentimeter:

Drainwässer

Asnières	Argenteuil	Moulin de Cage	Epinay
5830	38170	8170	26500.

Die Untersuchung der schmutzigen, ekelhaften, schwärzlichen Ablaufwasser aus einer Kothgrube ergab einen mittleren Gehalt von 29645000 Mikroben pro ccm. Wurde dieses Wasser in der Fabrik von Bondy einer höheren Temperatur ausgesetzt, so verlor dasselbe einen beträchtlichen Theil seiner Organismen, denn die Zahl derselben fiel unter solchen Umständen auf 55020 pro ccm.

Die Bacterienarten, welche vornehmlich im Wasser auftreten, sind etwa folgende[1]):

Micrococcus flavus liquefaciens, M. flavus desidens, M. aurantiacus, M. cinnabareus, M. luteus, M. versicolor, M. candicans. Diplococcus luteus und verschiedene andere Arten. Bacillus fluorescens liquefaciens, B. subtilis, B. erythrosporus, B. janthinus, B. mycoïdes. Ausserdem werden noch zahlreiche Arten genannt.

Bacterium Zürnianum.

Ferner: Crenothrix, Cladothrix, Beggiatoa.

4) Schlamm- und Sumpfwässer

enthalten u. A. Bacillus butyricus, Spirillum Rugula, S. serpens, S. undula, S. volutans, Spirochaete plicatilis.

3. Die Mikroorganismen des Bodens.

Aus den vorliegenden mikroskopischen Analysen des Bodens ergiebt sich zunächst die Thatsache, dass die oberen Erdschichten ganz ausserordentlich reich an Mikroorganismen, hauptsächlich an Bacterien sind. So wurden z. B. von *P. Miquel*[2]) in einem Gramm Erde von Grasflächen in einer Tiefe von 0,20 m im Mittel gefunden:

[1]) Ein Verzeichniss der im Wasser vorkommenden Bacterienarten befindet sich in *J. Eisenberg.* Bacteriologische Diagnostik. Hamburg und Leipzig. 1891. *L. Voss.* S. XXII.

[2]) Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour l'an 1882.

Montsouris	. . . .	700000	Bacterien
Genevilliers	mit Spüljauche berieselte Erde	870000	"
	nicht berieselte Erde	900000	"

Die am zahlreichsten vertretenen Spaltpilze gehörten den Bacillen an. Nach den vorläufigen Untersuchungen genannten Forschers kommen in der Ackererde auf 100 Spaltpilze 90 Bacillen und 10 andere Arten von Bacterien. An der Oberfläche des Humus traten die Micrococcen zahlreicher auf.

Diese Resultate werden durch einschlägige Versuche von *R. Koch*[1]) bestätigt, welcher selbst im Winter eine sehr reichliche Menge niederer Organismen in verschiedenen Bodenproben, welche sowohl von dicht bevölkerten Stellen (Berlin), als auch von entfernt gelegenen Aeckern entnommen waren, nachweisen konnte. Auch in diesen Versuchen waren die Bacillen vorwiegend. In ganz frisch entnommener Erde fanden sich zwar daneben Micrococcen, aber in der Minderzahl. In einigen Fällen jedoch, z. B. in Erdproben, die von stark verunreinigten (mit Düngerhaufen imprägnirten) Stellen stammten, übertrafen die Micrococcen an Zahl die Bacillen und traten auch Schimmelpilze auf; dies war aber nur ein locales Vorkommen. „Die Bacillen scheinen dagegen in den oberen Culturschichten von bewohnten Gegenden und überall, wo Garten- und Ackerbau getrieben wird, ganz constant und immer in grosser Menge vorzukommen; sie fanden sich in Erde aus dem Thierarzneischulgarten in Berlin ebenso reichlich, als in der Erde eines nicht mehr benutzten Begräbnissplatzes und in den Bodenproben von Gärten und Aeckern, die weit von dicht bevölkerten Stellen entfernt liegen."

In den von *L. Adametz*[2]) untersuchten Erdproben, welche von zwei nahe beisammen gelegenen Feldern von der Oberfläche und aus einer Tiefe von 20—25 cm entnommen waren, fanden sich in beiden Schichten Hefe- und Schimmelpilze in nicht gerade sehr beträchtlicher, Spaltpilze dagegen in ungeheurer Zahl. Unter Benutzung des *Thoma*'schen Zählapparates wurden die Spaltpilze, welche in einem Gramm Erde enthalten waren, in folgenden Mengen gefunden:

	Oberfläche	In 20—25 cm Tiefe
Sandboden	380000	460000
Lehmboden	500000	464000.

Die Zahl der Schimmelpilze betrug in derselben Quantität Erde:

Sandboden	50	40
Lehmboden	50	50.

Die Organismen waren aus folgenden Arten zusammengesetzt:

1) 6 Schimmelpilze (Penicillium glaucum, Mucor mucedo, M. racemosus, M. stolonifer, Aspergillus glaucus, Oïdium lactis).

2) 4 Hefepilze (Saccharomyces ellipsoïdeus, S. cerevisiae, S. glutinis, Monilia candida) und zwei bisher noch nicht beobachtete Arten von hefeähnlichen Zellen. Sie zeigen hefeähnliche Sprossung und Vacuolen, spalten Zucker, bilden aber ein Mycelium wie Schimmelpilze.

3) von Spaltpilzen 4 aus der Gattung Micrococcus. (M candidus, M. luteus, M. aurantiacus, Diplococcus luteus); 4 aus der Gattung Bacterium (B. No. 1,

[1]) Mittheilungen aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte. I. Berlin. 1881. S. 34—36.

[2]) Untersuchungen über die niederen Pilze der Ackerkrume. Inaugural-Dissertation. Leipzig. 1876.

B. No. 2, B. lineola, B. termo); 3 Arten von Bacillen (Bacillus subtilis, B. Nr. 2, B. butyricus; aus der Gattung Vibrio (Spirillum) noch V. Rugula.

Hinsichtlich der Verbreitung der niederen Organismen im Boden war bereits *R. Koch*[1]) zu dem Ergebniss gelangt, dass der Reichthum an denselben nach der Tiefe zu sehr schnell abnimmt und dass kaum einen Meter tief der nicht umgewühlte Boden fast frei von Bacterien ist. Selbst inmitten von Berlin hat *Koch* in Erdproben, die frisch ausgeworfenem Baugrunde entnommen waren, in einer Tiefe von einem Meter keine Bacillen und nur ganz vereinzelte Colonien von sehr kleinen Micrococcen nach der Aussaat auf Nährgelatine erhalten. „In einem Fall stammte die Erde von einem unmittelbar neben der Panke in der Philippstrasse aufgeführten Neubau aus zwei Meter Tiefe, im Niveau des Pankenwassers und kaum zwei Meter von demselben entfernt, und auch diese Probe zeigte sich ganz ausserordentlich arm an Mikroorganismen.“

Für die Richtigkeit der *Koch*'schen Beobachtung sprechen die Ergebnisse der von *C. Fränkel*[2]) angestellten eingehenden Untersuchungen, von welchen zunächst jene der ersten Versuchsreihe hier eine Stelle finden mögen.

Boden aus der Umgebung von Potsdam.
1886/87.

Tiefe der Bodenschicht.	Menge der in 1 ccm etwa vorhandenen Bacterienkeime.								
	24. April.	27. Mai.	12. Juni.	9. Juli.	14. Aug.	4. Sept.	2. Oct.	3. Nov.	16. März.
Oberfläche	—	150000	110000	—	300000	95000	130000	55000	80000
½ m	70000	200000	90000	—	240000	65000	100000	75000	85000
¾ „	25000	—	—	—	40200	3000	—	8000	—
1 „	1000	2000	2000	4300	80000	600	40000	7000	3000
1½ „	200	15000	2000	400	500	700	600	200	300
2 „	—	2000	600	300	400	—	700	100	200
2½ „	250	500	700	—	100	—	150	—	150
3 „	—	3000	100	—	—	150	—	1500	100
3½ „	—	—	800	—	—	100	1400	50	700
4 „	—	—	150	300	—	—	600	—	—

Hieraus geht deutlich hervor, dass die oberen Schichten eines jungfräulichen, unberührten Bodens bis zu einer wechselnden, meist zwischen ¾ und 1½ liegenden Tiefe von Mikroorganismen der verschiedensten Art durchsetzt sind, dass aber an der genannten Grenze eine ebenso plötzliche als umfangreiche Abnahme des Bacteriengehaltes eintritt und die tieferen Bodentheile, selbst die dem Grundwasser angehörenden Schichten keimarm und sogar keimfrei erscheinen, weder aërobe noch anaërobe Bacterien beherbergen.

In der zweiten Versuchsreihe wurden von *Fränkel* folgende Daten ermittelt:

---

[1]) a. a. O.

[2]) Zeitschrift für Hygiene. Bd. II. Heft 3. 1887. S. 521—582.

Boden von verschiedenen bewohnten Plätzen Berlins.
1885/86.

Tiefe der Bodenschicht.	Menge der in 1 ccm etwa vorhandenen Bacterienkeime.							
	20. Juli.	26. Juli.	7. Aug.	8. Aug.	1 Nov.	6. April.	11. Nov.	? (Gärten).
Oberfläche	8000	350000	160000	—	300000	—	—	450000
1/2 m	6500	50000	40000	—	—	—	—	300000
1 „	45000	800	10000	35000	1000	100000	80000	150000
1 1/2 „	3500	—	—	50000	2000	180000	20000	80000
2 „	—	750	6000	15000	3500	65000	49000	200000
2 1/2 „	—	—	—	20000	300	470000	650	700
3 „	—	—	300	500	1000	34000	600	100
3 1/2 „	—	—	—	150	750	—	3000	—
4 „	—	—	—	—	—	—	900	—

Auch hier wurde ein ausserordentlicher Reichthum der oberflächlichen Bodenschichten an Keimen niederer Organismen constatirt, und die Menge der Bacterien war in diesem Falle eine bedeutend grössere als im jungfräulichen Boden. Nichtsdestoweniger zeigte sich auch hier bei weiterem Eindringen in die Tiefe und zwar zuweilen schon bei 1 m, meist aber erst von 1 1/2—2 m Tiefe an, eine ganz entschiedene Abnahme, die, in grossen Sprüngen auftretend, schliesslich sogar zum vollständigen Verschwinden der Mikroorganismen führte. Unter den zahlreichen, in den oberflächlichen Schichten gefundenen Organismen haben sich anaërobe fast gar nicht nachweisen lassen.

Wenngleich diese Beobachtungen, ihrer geringen Zahl wegen, nicht Anspruch auf allgemeine Giltigkeit erheben können, so ist doch schon mit Bestimmtheit die Thatsache zu erkennen, dass auch der Erdboden, welcher Jahrhunderte lang im Bereiche menschlicher Thätigkeit liegt, auf welchem lange Reihen von verschiedenen Generationen gelebt und gewohnt haben, der während dieser Zeit alle Abfallstoffe eben dieser Bewohner aufzunehmen genöthigt war, das nämliche Verhalten zeigt wie ein unberührt gebliebener Boden, nämlich, dass **die oberflächlichen Schichten reich an Mikroorganismen verschiedener Art sind, die tieferen Lagen des Bodens, einschliesslich des Grundwasserbezirkes hingegen keimarm oder sogar keimfrei angetroffen werden.**

Diese Abnahme und das Schwinden der Bacterien selbst im bewohnten Boden wird von *Fränkel* zum Theil darauf zurückgeführt, dass der Boden wie ein Sandfilter wirkt, der die Mikroorganismen nur in geringe Tiefen gelangen lässt, zum Theil aber auf den Umstand, dass in diesen Tiefen eine Temperatur herrscht, bei welcher, wie directe Versuche zeigten, viele Bacterien sich nicht weiter entwickeln.

Von den übrigen bacteriologischen Untersuchungen des Bodens sind besonders jene von *P. Fülles*[1]) insofern werthvoll, als dieselben sich nicht nur auf die Zahl der Organismen und deren Natur, sondern auch auf verschiedene Bodenzustände erstreckten. Es wurde gewählt: 1) Erde von einem bebauten Ackerlande, dessen Krume in einer Mächtigkeit von 50 cm auf einer festen Kiesschicht aufruht, 2) steinige Weinbergserde, 3) Waldboden, dessen oberste 60 cm starke humusreiche

[1]) Zeitschrift f. Hygiene. Bd. X. 1891. S. 225—252.

Schicht auf Gneiss ruht, 4) Erde von einem an einem Fluss gelegenen Wiesenlande. Sämmtliche Oertlichkeiten liegen in der Umgebung von Freiburg i. Br. Ausser diesen in das Gebiet der regelmässigen Untersuchungen fallenden Proben wurde vergleichsweise noch der Boden vom Rosskopf (739 m) und vom Schauinsland (1286 m) einer Prüfung unterzogen.

Die gefundenen Arten waren folgende:

I. Micrococcen. a) Gelatine nicht verflüssigend: Micrococcus aurantiacus. 2. M. candidus. 3. M. luteus. 4. M. candicans. 5. M. versicolor. 6. M. cinnabareus. 7. M. cereus albus. 8. M. fervidosus. 9. Rother Coccus (*Maschek*). b) Gelatine verflüssigend: 10. M. flavus liquefaciens. 11. M. flavus desidens. 12. Diplococcus luteus. 13. Sarcina lutea.

II. Bacillen: a) Gelatine nicht verflüssigend: Nicht pathogen: 1. Bacillus fluorescens putidus. 2. B. muscoides. 3. B. scissus. 4. B. candicans. 5. B. diffusus. 6. B. filiformis. 7. B. luteus. 8. Fluorescirender Wasserbacillus (*Ehrenberg*). 9. B. viridis pallescens. 10. Blaugrün fluorescirendes Bacterium I (*Adametz*). 11. B. stolonatus. 12. Bacterium Zürnianum. 13. B. aërogenes. b) Gelatine verflüssigend: a) Nicht pathogen: 14. B. ramosus liquefaciens. 15. B. liquidus. 16. Wurzelbacillus (B. mycoïdes). 17. B. subtilis. 18. B. mesentericus fuscus. 19. B. mesentericus vulgatus. 20. B. fluorescens liquefaciens. 21. Bacillus ramosus. 22. Citronengelber Bacillus (*Frankland*). 23. Grüngelber Bacillus (*Eisenberg*). 24. B. gasoformans. 25. Grauer Bacillus (*Maschek*). 26. B. prodigiosus. 27. Proteus mirabilis. 28. P. vulgaris. 29. Kartoffelbacillus (Bacillus mesentericus vulgatus). 30. B. cuticularis. 31. B. albus. b) Pathogen: B. oedematis maligni. Ausserdem zwei noch nicht beschriebene Arten (Bacillus No. 1 und 2) Gelatine nicht verflüssigend.

Im Laufe der fortgesetzten Untersuchungen hat sich ergeben, dass die Mehrzahl der gefundenen Bacterien den Bacillen angehört; es wurden deren im Ganzen 34 gefunden; weniger zahlreich waren die Coccen vertreten, deren Zahl 13 beträgt, und zwar fanden sich dieselben hauptsächlich nur in den oberen Schichten und kamen in den tieferen Schichten selten vor.

Hinsichtlich der Häufigkeit des Vorkommens der verschiedenen Species stellten sich folgende Verhältnisse heraus. Sehr häufig, fast in jeder Bodenprobe, fanden sich in folgender Skala, der Häufigkeit ihres Vorkommens nach geordnet: Bacillen No. 16, 17, 6, 20, 1, 7. Microc. 3. Bac. 28. Microc. 4, 2, 12, Bac. 29, 24, 10, 31, 4, — so dass in der angegebenen Reihenfolge Bac. 16 am meisten und unter die weniger häufig vorkommenden der Bac. 4 gehörte. Seltener, d. h. nicht auf jeder Platte kommen vor: Microc. 10, 5, 1, 6, 7. Bac. 18, 19, 3, 5, 27, 2, 14, 8, 22, 11, 23, 12, 25, 9, 13. Nur vereinzelt, d. h. die überhaupt während des ganzen über ein Jahr ausgedehnten Verlaufes der Untersuchung in wenigen Exemplaren angetroffen wurden, fanden sich Microc. 9, 11, 13, Bac. 21, 26, 30.

Bei dem Vergleich der verschiedenen oberflächlichen Bodenproben unter einander ergab sich im Durchschnitt folgendes Resultat: Die Proben der Wiesen- und Walderde lieferten das bunteste Gemenge von Bacterien, regelmässiger gestalteten sich die von der Weinbergs- und Ackererde. Ein merklicher Unterschied der Bacterienart aus den verschiedenen Tiefen war nicht zu erkennen.

Bei den in regelmässiger Zeitfolge fortgesetzten Untersuchungen zeigt sich die auffallende Thatsache, dass gewisse Arten plötzlich in ganz ungewöhnlichen Mengen

auftreten und wieder ebenso rasch verschwinden, um entweder durch das gewöhnliche ziemlich gleichmässige Bacteriengemisch ersetzt zu werden oder aber durch eine wiederum stark vorherrschende Spaltpilzart.

In 1 m Tiefe waren noch die Schimmelpilze manchmal in grosser Menge vertreten, bei natürlich gewachsenem und nicht aufgewühltem Boden. Hefezellen fanden sich äusserst selten, so die Rosahefe (Saccharomyces glutinis), diese aber auffallender Weise noch in 1—2 m Tiefe. Die Bodenproben, welche aus grosser Höhe (Rosskopf, Schauinsland) entnommen und untersucht wurden, zeigten eine bedeutend grössere Regelmässigkeit als die Proben aus Culturland. Es kamen in diesen Höhen fast ausschliesslich der B. stubtilis und B. mycoïdes vor, so dass es fast den Eindruck machte, als habe man zwei Reinculturen absichtlich gemischt und zur Plattencultur ausgegossen.

Was die Anzahl der in den verschiedenen Proben enthaltenen Keime betrifft, so ergab sich, dass gegenüber der grossen, in der Oberfläche enthaltenen Spaltpilzmenge dieselbe schon in 1 m Tiefe bedeutend abnimmt und zwar ist diese Abnahme keine allmähliche, sondern eine plötzliche. Meistens mit 1 m Tiefe kann sich die Zahl der Bacterien mit einem Schlage um das Hundertfache verringern. Es zeigt sich ferner, dass die Menge der Spaltpilze in den oberflächlichen Schichten der verschiedenen Erdproben nicht die gleichen sind, je nach der Bebauungs- und Culturart. Die wenigsten Keime wies der Waldboden auf, im Durchschnitt ungefähr 600000 pro ccm; dann folgt die vom Weinberg stammende Probe mit durchschnittlich 1050000; bedeutend grösser war der Keimgehalt im Wiesengrund, mit 1400000 und am meisten enthielt der Ackerboden, nämlich 1500000. Der grösste gefundene Keimgehalt beträgt 6000000 und unter 70000 sank die Zahl überhaupt nicht herab. In 1 m Tiefe nahm die Zahl bedeutend ab. In der angegebenen Reihenfolge, Waldboden, Weinbergserde, Wiesengrund und Ackerboden, fanden sich in einem Cubikcentimeter im Durchschnitt 128000, 46000, 134000 und 330000 Keime. Da die Untersuchungen in grösseren Tiefen nicht in der Regelmässigkeit angestellt werden konnten, lassen sich hierbei keine vergleichbaren Resultate aufstellen. In den untersuchten Proben betrug die Durchschnittszahl in einer Tiefe von 2 m ca. 17000. Ein keimfreier Boden konnte nur einmal constatirt werden. Natürlich wiesen die Proben aus aufgeschüttetem Terrain einen bedeutend grösseren Keimgehalt auf; so fanden sich bei 2 m Tiefe in 1 ccm Erde ungefähr 160000 Keime. Die Proben von den hochgelegenen Punkten enthielten auch weniger Keime, als die meisten der übrigen Untersuchungen ergeben hatten. Während die Anzahl bei dem 739 m hoch gelegenen Rosskopf 200000 betrug, waren in der von dem 1286 m hohen Schauinsland entnommenen Probe nur 100000 Spaltpilze im Cubikcentimeter enthalten.

Bei der geringen Zahl der bisherigen Untersuchungen lässt sich zur Zeit noch keine klare Vorstellung von den einschlägigen Verhältnissen gewinnen, um so weniger, als die für das Auftreten und die Vermehrung der Mikroorganismen massgebenden Lebensbedingungen einem ausserordentlichen Wechsel im Boden unterliegen und an verschiedenen Oertlichkeiten sehr verschieden sind. So sind neben den in den Untersuchungen von *Adametz* und *Fülles* gefundenen Organismen von anderen Forschern noch zahlreiche andere Arten in den Böden nachgewiesen worden [1], so z. B. unter

[1]) *J. Eisenberg.* Bacteriologische Diagnostik. 1891.

gewissen Verhältnissen, nicht selten in grösserer Menge B. butyricus, B. racemosus, B. thermophilus, B. viscosus u. s. w., ferner B. terrigenus, und unter den pathogenen Formen neben B. oedematis maligni, der Tetanusbacillus, Staphylococcus pyogenes aureus, Streptococcus septicus, Bacillus septicus agrigenus, Pseudoödembacillus.

Die Einwirkung der Pflanzendecken und Kulturarten macht sich hinsichtlich des Vorkommens der verschiedenen Mikroorganismen in äusserst mannigfaltiger Weise bemerklich. Im bearbeiteten Ackerlande ist die Zahl der Lebewesen unter allen Umständen am grössten und sind die Bacterien in höherem Maasse vertreten als die Schimmelpilze. In Böden dagegen, welche nicht bearbeitet werden und in welchen die Zersetzung der organischen Stoffe langsam von Statten geht und grössere Mengen von saurem Humus angesammelt sind, wie in Wald-, Wiesen- und Moorböden, treten die Bacterien zurück und gewinnen die Schimmelpilze, wenigstens in den oberen, der Luft noch zugänglichen Schichten das Uebergewicht. In dem anmoorigen Boden der Wiesen, besonders aber im Torf sind die Bacterien nur spärlich vertreten oder fehlen fast vollständig.

Ueber das Auftreten der Nitrificationsbacterien, welche hier gesondert behandelt werden sollen, geben besonders die Versuche von *R. Warington*[1]) Auskunft. In zwei Reihen wurden bis zu 46 cm Tiefe (in einem Fall bis zu 91 cm Tiefe) nitrificirende Organismen gefunden, in den folgenden Tiefen aber nicht. Neuere nach vervollkommneter Methode angestellte Untersuchungen desselben Forschers[2]) führten zu dem Ergebniss, dass die Nitrificationsbacterien bis zu einer Tiefe von 1,50—1,80 m sich vorfinden, aber eine um so schwächere Wirkung ausüben und in um so geringerer Menge vorkommen, je tiefer die Bodenschichten sind, aus denen sie herstammen. Die nitrificirenden Organismen zeigen sonach ein den übrigen im Boden auftretenden Organismen ähnliches Verhalten.

Unter natürlichen Verhältnissen kommt hauptsächlich nur die Nitrification in den obersten Bodenschichten in Betracht, weil in diesen die Bedingungen für diesen Process (grösserer Luftzutritt und Reichthum an stickstoffhaltigen Stoffen) günstiger sind als im Untergrund. Wenn trotzdem in den Drainwässern oder im Boden in grösseren Tiefen mehr oder weniger beträchtliche Mengen von Salpetersäure auftreten, so darf nicht angenommen werden, dass dieselben dort gebildet seien, vielmehr wird geschlossen werden dürfen, dass dieselben vornehmlich in den obersten Bodenschichten entstanden und durch das in den Boden eindringende Wasser abwärts geführt worden sind.

Nach allen bisherigen Beobachtungen treten die nitrificirenden Organismen in grösster, wenngleich in wechselnder Menge in der Ackererde und in allen der Luft leicht zugänglichen Bodenarten auf, dagegen werden sie in den Wiesen-, Wald- und Moorböden vermisst, oder sie treten in diesen Ländereien nur unter besonderen Umständen und nur in geringer Zahl auf.

Bereits *Boussingault*[3]) hatte die grosse Armuth an Nitraten in den meisten Waldböden nachgewiesen, eine Beobachtung, welche von *Chabrier*[4]) bestätigt wurde,

[1]) Journ. of the chem. Society. 1884. Vol. XLV. p. 637—672.

[2]) Ebenda. Vol. LI. 1887. p. 118—129.

[3]) Comptes rendus. 1857.

[4]) Comptes rendus. Bd. LXXIII. 1871. p. 186 u. 1480.

welcher fand, dass der Gehalt des Bodens unter Fichten an Nitriten und Nitraten bedeutend ärmer war als der gleichartige Ackerboden. In *Schloesing*'s Versuchen [1]) konnte in dem Waldboden nicht eine Spur von diesen Verbindungen nachgewiesen werden, während der urbar gemachte und gekalkte Boden davon beträchtliche Mengen enthielt. Ebenso ist es neuerdings *A. Baumann* [2]) nicht gelungen, in einem Waldboden Salpetersäure aufzufinden und die von *E. Ebermayer* [3]) an den verschiedensten Orten, grösstentheils im bayerischen Gebirge vorgenommenen Untersuchungen führten zu dem übereinstimmenden Resultat, dass die Waldböden und Torfmoore entweder ganz frei von Nitraten sind oder äusserst geringe Mengen davon enthalten, während die mit Stallmist, Jauche u. s. w. gedüngten Acker- und Gartenböden durchgehends sich sehr reich an diesem werthvollen Pflanzennahrungsmittel zeigten. Aus derartigen Beobachtungen erscheint die Schlussfolgerung berechtigt, dass in Wiesen-, Wald- und Moorböden die Nitrifications-Organismen im Allgemeinen nicht die Bedingungen ihres Gedeihens finden. Von dieser Regel treten indessen auch Ausnahmen auf. So werden in manchen Wiesenböden und urbargemachten Wald- und Moorböden unter Umständen nicht unbeträchtliche Nitratmengen angetroffen, auch hat *Grebe* [4]) im Sande von Kiefernböden sogar einen hohen Gehalt von Salpetersäure angetroffen. Es wird hieraus geschlossen werden müssen, dass das Fehlen der Salpetersäure oder das Auftreten geringer Mengen derselben in den vorbezeichneten Böden an eine bestimmte Beschaffenheit derselben geknüpft ist. Hierüber geben nun die von *A. Müntz* [5]) nach dieser Richtung angestellten Versuche werthvolle Anhaltspunkte.

Müntz benutzte verschiedene Bodenarten von sauerer (Haide und Moorerde) und nicht sauerer Reaction (Acker- und Gartenerde), setzte denselben thierische organische Stoffe (Leder- und Blutmehl) zu und stellte nach Umfluss eines längeren Zeitraumes die indessen gebildeten Ammoniak- und Nitratmengen fest. Der Befund war folgender:

	Haiderde.		Moorerde.	
Versuchsdauer 8 Monate.	Ammoniak mgr	Salpetersäure mgr	Ammoniak mgr	Salpetersäure mgr
In 100 gr. Boden	2,5	0	2,1	0
„ „ „ „ gedüngt mit Ledermehl	28,9	0	21,1	0
„ „ „ „ „ mit Blutmehl .	73,9	0	39,7	0
	Ackererde.		Gartenerde.	
Versuchsdauer:	11 Tage		65 Tage.	
In 100 gr Boden	0,1	7,0	0,9	24,4
„ „ „ „ gedüngt mit Ledermehl	0,9	312,6	25,2	135,6
„ „ „ „ „ mit Blutmehl .	1,1	281,1	23,9	99,3

Diese Zahlen scheinen mit ziemlicher Sicherheit dafür zu sprechen, dass in allen Fällen, wo die Böden eine sauere Reaction zeigen, eine Bildung von Salpeter-

[1]) Comptes rendus. Bd. LXXIII. 1871. p. 1326.

[2]) Ueber die Bestimmung des im Boden enthaltenen Ammoniakstickstoffs und über die Menge des assimilirbaren Stickstoffs im unbearbeiteten Boden. Habilitationsschrift. 1886.

[3]) Allgem. Forst- und Jagdzeitung. Von *Lorey* und *Lehr*. 1888. August.

[4]) Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. Bd. 19. 1885. S. 157.

[5]) Comptes rendus. T. CX. 1890. p. 1206.

säure nicht stattfindet und dass Böden von solcher Beschaffenheit, wie dies bei den meisten Wiesen-, Wald und Moorböden der Fall ist, den nitrificirenden Organismen keinen passenden Wohnort bieten. Dass Ausnahmen von dieser Regel vorkommen können, beweisen die Untersuchungen von *Grebe;* diese werden sich jedoch nur dort bemerkbar machen, wo der Boden keine sauere Reaction besitzt.

Bei Zusammenfassung der in diesem Abschnitt mitgetheilten Beobachtungen gelangt man zu dem Resultat:

1) dass der Boden in wechselnder Menge zahlreiche Mikroorganismen (bis zu 6000000 pro ccm) enthält, und zwar Schimmel-, Spross- und Spaltpilze;

2) dass die Verbreitung dieser Organismen sich nur auf die oberen Bodenpartien erstreckt und dass die Zahl derselben schon bei 1 m Tiefe in beträchtlichem Grade abnimmt, und bei 2 m Tiefe in den meisten Fällen auf Null herabsinkt;

3) dass unter den Mikroorganismen in der Regel die Bacterien in grösster Menge auftreten, dann folgen die Schimmelpilze, während die Sprosspilze nur vereinzelt vorkommen;

4) dass die Spaltpilze vornehmlich durch verschiedene Bacillen repräsentirt sind, die Micrococcen dagegen diesen gegenüber wesentlich zurücktreten und nur in den oberen Bodenschichten in grösserer Zahl beobachtet werden;

5) dass in Böden von sauerer Reaction (Wiesen-, Wald- und Moorböden) die Spaltpilze durch die Schimmelpilze verdrängt werden und die nitrificirenden Organismen nicht die Bedingungen ihres Gedeihens finden.

4. Die Mikroorganismen auf sich zersetzenden organischen Substanzen.

Die dem Zerfall unterliegenden auf der Erdoberfläche vorkommenden Pflanzen- und Thierreste sind, wie der Boden, von äusserst zahlreichen Organismen bewohnt. Dies ergiebt sich nicht nur aus den bekannten Beziehungen der Mikroorganismen zu den Processen der Entmischung organischer Substanzen, sondern auch aus verschiedenen Beobachtungen, die allerdings noch unzureichend sind, um für die verschiedenen Materialien die betreffenden Species genau angeben zu können.

Auf den Faeces sind gefunden worden: Micrococcus aërogenes, B. subtilis, B. thermophilus, B. muscoides, B. putrificus coli, *Bienstock*'s Bacillen, B. coprogenes foetidus, B. aërogenes, Bacterium aërogenes, B. Zopfii u. A. m. Diese werden zum grossen Theil auch im Dünger und anderen faulenden, besonders thierischen Stoffen neben Bacillus saprogenes, B. mesentericus fuscus, B. butyricus, B. fluorescens liquefaciens, B. fluorescens putidus, B. erythrosporus, B. janthinus, Proteus vulgaris, P. mirabilis u. s. w. beobachtet.

Die der Luft zugänglichen Schichten des Düngers werden von verschiedenen Schimmelpilzen bewohnt, von welchen besonders zu nennen sind: Pilolobus crystallinus *Tode,* Mortierella Rostafinskii *Brefeld,* Coprinus stercocarius *Bulliard,* Sordaria minuta *Fuckel,* S. Brefeldii *Zukal,* S. curvula *de Bary,* S. decipiens *Winter,* S. pleiospora, S. Wiesneri, Thamnidium elegans *Link,* Ascobolus pulcherrimus *Crouan,*

A. denudatus *Fr*, A. furfuraceus *Persoon*, Syncephalis cordata *van Tieghem* et *le Monnier*, Ascodesmis nigricans *van Tieghem*, Saccobolus-Arten[1]).

Sobald die sich zersetzenden organischen Stoffe eine sauere Beschaffenheit annehmen, wie dies z. B. bei dem Rohhumus der Wälder der Fall ist, treten besonders höhere Pilze auf, deren reichlich entwickeltes Mycel man im Waldboden überall beobachten kann. Nach *Nägeli* sind besonders die noch wenig studirten Fadenpilze (Hyphomyceten) bei der Entstehung der dunkel gefärbten Humusstoffe betheiligt. Von *P. E. Müller*[2]) wird für die Rohhumusschichten in den Wäldern eine Cladosporiumform angegeben, welche dunkel gefärbte, schwer zersetzbare Fäden bildet (Fig. 43). Nach *Früh* ist diese Pilzart geradezu charakteristisch für die Rohhumusablagerungen (siehe Abschnitt II). Die Betheiligung dieser Pilze an den in Rede stehenden Zersetzungsprocessen wird noch näher untersucht werden müssen. Im Uebrigen ist es nicht zweifelhaft, dass dort, wo grössere Ablagerungen von sauerem Humus stattfinden, sich die gewöhnlichen Schimmelpilze ansiedeln.

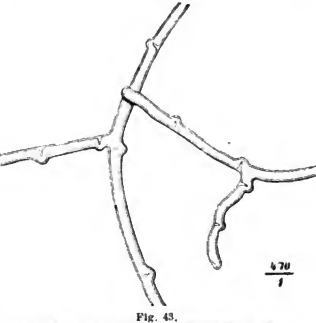


Fig. 43.
Mycelfaden von Cladosporium humifaciens. *Rostr.* (Nach *Müller*.)

5. Die Mikroorganismen auf Pflanzen.

Auf Pflanzen und Pflanzenaufgüssen wurden gefunden: B. mesentericus fuscus, B. mesentericus vulgatus, B. prodigiosus, B. butyricus, B. megaterium, B. subtilis, B. tumescens u. s. w.

Neuerdings hat *E Bréal*[3]) ein denitrificirendes Ferment auf Stroh, Heu von Luzerne, Maisölkuchen u. s. w. nachgewiesen (S. 35).

VI. Lebensbedingungen der Mikroorganismen.

In gleicher Weise wie die höheren Gewächse stellen die niederen Organismen an die äusseren Lebensbedingungen bestimmte Anforderungen, deren Kenntniss ein hervorragendes Interesse insofern bietet, als erst mittels derselben ein klarer Einblick in die ziemlich complicirten bezüglichen Vorgänge in der Natur, sowie hinsichtlich der zu ergreifenden praktischen Maassnahmen gewonnen werden kann[4]).

Für das Zustandekommen jener Vorgänge, welche das Leben der Pflanzenzelle ausmachen, bedarf es vor Allem der Auslösung gewisser Kraftmengen, ohne welche das Leben des Organismus nicht möglich ist. Diese Kräfte werden geliefert bei dem

[1]) Vergl. *W. Zopf.* Die Pilze. Breslau. 1890.

[2]) Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin. 1887.

[3]) Annales agronomiques. T. XVIII. Nr. 4. p. 181–195.

[4]) Bei Ausarbeitung dieses Capitels wurde vornehmlich *C. Flügge*'s ausführliches Werk: „Die niederen Organismen", Leipzig 1886, zu Grunde gelegt.

Stoffwechsel, der in den niederen Organismen vor sich geht, indem zunächst durch das lebende Protoplasma die geeigneten complicirten Verbindungen in einfache zerlegt werden, wobei als Product stets Kohlensäure beobachtet wird. Neben diesem Process (intramoleculare Athmung), welcher keinen Sauerstoff erfordert und welcher die primäre Ursache der Kraftentwickelung in der Pflanze ist, findet noch ein solcher unter dem Zutritt des Sauerstoffs statt, der insofern nothwendig ist, als die lediglich durch den Stoffwechsel gewonnene Kraft nicht ausreicht, um den ganzen Energiebedarf der Pflanze zu decken. Es müssen somit, um die fehlende Kraft zu decken, umfangreiche Oxydationen stattfinden. Die dadurch bedingte Kraftentwickelung wird aber weit weniger von der Menge des zugetretenen Sauerstoffs als vielmehr von jenen Spaltungsvorgängen im Protoplasma (von der intramolecularen Athmung) regulirt, welche die Sauerstoffathmung erst anregen und beherrschen.

Bei manchen niederen Organismen (Spaltpilze) sind indessen die geringen Kraftmengen, welche durch die intramoleculare Athmung geliefert werden, für die gesammten Lebensfunctionen ausreichend, oder derartige Organismen sind im Stande, gewissen Verbindungen Sauerstoff zu entziehen und zur Oxydation zu verwenden. „In der Mehrzahl der Fälle reicht auch dann allerdings die intramoleculare Athmung auf die Dauer nicht aus, um den Kraftbedarf der Spaltpilze zu decken, sondern die Entbehrung des Sauerstoffs wird nur so lange gut ertragen, als ein eigenthümliches Surrogat desselben vorhanden ist. Dieses wird nämlich durch die Gährung geliefert, bei welcher eine grosse Stoffmenge im nährenden Medium oberflächlich, aber so zerlegt wird, dass dabei eine Summe von Energie frei wird, welche der sonst durch die Oxydationsprocesse gewonnenen gleichkommt. Die Gährung vermag somit vicariirend für den Sauerstoff einzutreten und die Sauerstoffathmung und die Gährthätigkeit sind bezüglich ihrer Wirkung auf die Lebensvorgänge in den niederen Pilzen als gleichbedeutend anzusehen.“ *(Flügge.)*

Neben dem Athmungsprocess, der, gleichviel ob er mit oder ohne Sauerstoff vor sich geht, eine stete Zufuhr von Nährmaterial für die Zerlegung und Oxydation erfordert, findet in den Zellen weiters ein Assimilationsprocess statt, welchem die Aufgabe zufällt, die aufgenommenen Nährstoffe sowohl in geeignete Verbindungen für die Spaltung, als in solche des Organismus für das Wachsthum und die Vermehrung desselben umzuwandeln, und der dadurch einen vom ersteren Process wesentlich verschiedenen Charakter besitzt.

Die unter dem Einfluss der Thätigkeit der Organismen vor sich gehende Zersetzung der organischen Stoffe ist aber nicht allein bedingt durch die bezeichneten Vorgänge im Protoplasma (intramoleculare Athmung und Oxydation), sondern wird bei gewissen Arten ausserdem noch durch Ausscheidung von Fermenten (Enzyme) unterstützt, welche lösliche complicirt zusammengesetzte, leicht veränderliche organische Körper darstellen und relativ grosse Mengen anderer organischer Stoffe umzuwandeln vermögen. Hierbei entstehen Verbindungen, welche löslich, diffundirbar sind und als Nährstoffe verwendet werden können. So wird z. B. von Bacillus subtilis und zahlreichen anderen, die Nährgelatine verflüssigenden Bacterien ein Ferment producirt, welches unlösliches Eiweiss in Pepton verwandelt, von Bacillus butyricus und Spirillum Rugula ein solches ausgeschieden, welches die Cellulose löst, oder es wird unter den Stoffwechselproducten mancher Bacterienarten das diastatische Ferment angetroffen, welches Stärke in verschiedene Glycosearten (Maltose, Dextrose

u. s. w.) überführt. Ferner gehören hierher die invertirenden Fermente, welche Rohr-, Milchzucker und Maltose in Dextrose, Galaktose und Lävulose verwandeln und deren Auftreten sowohl bei gewissen Schimmelpilzen (Aspergillus und Penicillium), als auch bei Hefe- und manchen Spaltpilzen beobachtet worden ist. Das Harnferment, welches Harnstoff in Ammoniumcarbonat und Hippursäure in Glycocoll und Benzoësäure spaltet, stammt gleichergestalt von gewissen, oben näher bezeichneten Organismen her.

Die durch Fermente hervorgerufenen Vorgänge sind von denen, welche bei vornehmlich auf intramolecularer Athmung beruhenden Gährungen stattfinden, wesentlich verschieden. „Die Fermente stellen sich als lösliche, chemische, nicht nothwendig an lebende Organismen gebundene Körper dar, die nur hydrolytische Spaltungen auszuführen vermögen, während bei der eigentlichen Gährung complicirte Aenderungen der Atomgruppen stattfinden, welche die stete Anwesenheit und das unmittelbare Eingreifen lebender Organismen voraussetzen. Am deutlichsten ergiebt sich die wesentliche Verschiedenheit beider Vorgänge aus einer Vergleichung der äusseren begünstigenden und schädigenden Momente; die löslichen Fermente wirken am besten bei einer Temperatur von etwa 60° C. und bei sauerer Reaction; ziemlich grosse Dosen von Wasserstoffsuperoxyd, Carbolsäure, Terpentinöl u. s. w. lassen ihre Wirkung fast ungeschwächt; unter den gleichen Bedingungen beobachten wir aber ausnahmslos ein völliges Sistiren des Lebens oder der gährungserregenden Thätigkeit aller Mikroorganismen.“ (*Flügge.*)

Ueber die Lebensbedingungen der oben unterschiedenen drei Gruppen von Organismen lässt sich im Speciellen kurz Folgendes anführen.

I. Lebensbedingungen der Schimmelpilze.

Zum Aufbau ihrer organischen Substanz bedürfen die Schimmelpilze hauptsächlich kohlenstoff- und stickstoffhaltige organische Substanzen, Wasser und Mineralbestandtheile. Eiweissstoffe, besonders peptonisirte, amidartige Stoffe (Leucin, Tyrosin, Asparagin) und zur Gruppe der Kohlehydrate gehörige Stoffe (hauptsächlich die Zuckerarten), organische Säuren (Wein-, Citronen-, Bernstein-, Essigsäure u. s. w.) sind neben phosphorsauren und schwefelsauren Alkali- und alkalischen Erdsalzen die wichtigsten Nahrungsquellen für die Schimmelpilze. Aus Ammoniak und salpetersauren Salzen vermögen dieselben nur dann ihren Stickstoffbedarf zu decken, wenn sich eine stickstofffreie organische Verbindung in dem Substrat, oder das Ammoniak in Verbindung mit organischen Säuren befindet.

Das Wasser ist von grosser Bedeutung für die Schimmelpilze, einerseits weil es zum Aufbau ihres Körpers und als Lösungs- oder Transportmittel, andererseits insofern als es zum Ersatz des verdunsteten Wassers dient. Das Wachsthum der Schimmelpilze ist nur dann ein üppiges, wenn das Substrat denselben neben den erforderlichen Nährstoffen ein gewisses höheres Maass von Feuchtigkeit bietet; es vermindert sich mit der Austrocknung und hört gänzlich auf, wenn der Wassergehalt der Masse eine gewisse untere Grenze überschritten hat.

Gegenüber einer höheren Concentration des Nährgemisches sind die Schimmelpilze ungleich unempfindlicher als die Spross- und Spaltpilze, und sie gedeihen noch bei einem Gehalt der Lösung an löslichen Bestandtheilen, bei welchem letztere zu

Grunde gehen würden. Doch besteht auch nach dieser Richtung eine Grenze, welche ohne Schädigung der Entwickelung nicht überschritten werden darf.

Von besonderem Belang für das Gedeihen der Schimmelpilze ist die Reaction der Nährmischung. Von schädlichem Einfluss erweist sich bei den meisten, wenn auch nicht bei allen Species ein Ueberschuss von Alkali, während sie bei Gegenwart von Säuren, sobald dieselben nicht im Uebermaass, welches von nachtheiliger Wirkung wäre, vorhanden sind, vortrefflich gedeihen, im Gegensatz zu den Spaltpilzen, welche bei sauerer Reaction des Nährgemisches in der Regel in ihrer Entwickelung gehemmt oder zu Grunde gerichtet werden.

Unter Umständen sind die Schimmelpilze befähigt, mit Hilfe von Fermenten, welche sie abscheiden, ungelöste organische Stoffe in Lösung überzuführen, wie dies z. B. für Penicillium und Aspergillus niger nachgewiesen ist, welche ein den Rohrzucker und die Maltose invertirendes Ferment produciren. Die oft beobachtete Auflösung von Cellulose durch Schimmelpilze, welche in Pflanzentheile eingedrungen sind, ist gleichergestalt auf den Einfluss von Fermenten zurückzuführen.

Eine hervorragende Wichtigkeit für das Leben der Schimmelpilze hat der Sauerstoff der atmosphärischen Luft, ohne welchen sie nicht zu bestehen vermögen. Sie sind daher, nach der von *Pasteur* gewählten Bezeichnung, aërob und kommen daher nur dort massenhaft vor, wo ihnen neben den entsprechenden Nährmaterialien und den ihnen zusagenden Feuchtigkeitsmengen genügende Sauerstoffmengen zur Verfügung stehen. Aus diesem Grunde werden sie vorzugsweise an der Oberfläche der sich zersetzenden Substanzen oder in solchen Schichten derselben angetroffen, in welchen sich Sauerstoff vorfindet. Einige Schimmelpilze (Mucor) haben die Fähigkeit, in Flüssigkeiten untergetaucht und demgemäss dem Luftzutritt entzogen, hefeartige Sprosse zu entwickeln, die, wenn sie an der Oberfläche durch die Gährung, welche sie veranlassen, treten, dort in normaler Weise fortwachsen und fructificiren (S. 48).

Wie bei allen übrigen Organismen sind auch bei den Schimmelpilzen die Lebensprocesse von der Temperatur beherrscht. Bei einer bestimmten mittleren Temperatur (Optimum) geht der betreffende Process am energischsten vor sich, und nimmt nach abwärts, nach dem Nullpunkt (Minimum), ebenso wie bis zu einer gewissen oberen Grenze (Maximum) an Intensität ab. Diese Cardinalpunkte der Temperaturwirkung, insonders das Temperatur-Minimum und Maximum, über welche hinaus nach beiden Seiten die einzelnen Processe zum Stillstand kommen, sind für die meisten Species noch nicht ermittelt worden. Für Penicillium glaucum liegen das

	Minimum	Optimum	Maximum
bei	2° C.	22° C.	43° C.

Für Aspergillus glaucus liegt das Optimum bei 12°, das Maximum bei 30°. Bei A. niger beträgt das Optimum 34—35° C. Soweit diese Verhältnisse zur Zeit sich überblicken lassen, sind die betreffenden Temperaturgrenzen für die verschiedenen Species verschieden, so dass die Temperatur oft ausschlaggebend für die zur Herrschaft gelangende Art ist. Beispielsweise fand *Adametz* bei Aussaat eines Sporengemisches, dass bei Temperaturen unter 12° C. Penicillium glaucum die Mucorineen überwucherte, wohingegen bei höherer Temperatur (20—25° C.) dieselben Nährmedien sich mit üppiger Mucorvegetation bedeckten, welche die kleinen Herde von Penicillium glaucum überwucherte. Weiters darf nicht unerwähnt bleiben, dass die

Temperaturgrenzen für die verschiedenen Functionen (Keimung, Mycelbildung, Fructification) bei einer und derselben Species sehr verschieden sind. Nach *Fränkel* vegetirt z. B. das Mycel von Aspergillus fumigatus noch bei 51—52° C., fructificirt aber bei dieser Temperatur nicht. Sporenbildung tritt erst dann ein, wenn der Pilz in eine Temperatur von 37° C. zurückversetzt wird.

Die Keimung der Sporen ist an das Vorhandensein von grösseren Feuchtigkeitsmengen, von freiem Sauerstoff und einer entsprechenden Temperatur geknüpft. Die zur Entwickelung der Keimschläuche erforderlichen Nährstoffe werden der Spore selbst entnommen.

2. Die Lebensbedingungen der Sprosspilze.

Hinsichtlich ihrer Ansprüche an die Nährstoffe verhalten sich die Sprosspilze den Schimmelpilzen analog, nur mit dem Unterschiede, dass ihnen, entsprechend ihrem höheren Stickstoffgehalt, reichlichere Mengen geeigneter stickstoffhaltiger Stoffe zur Verfügung stehen müssen, sowie namentlich, dass sie den Stickstoff der Nitrate nicht zu verwerthen vermögen. Eine höhere Concentration des Nährgemisches wird von ihnen weniger vertragen als von den Schimmelpilzen, und schlecht nährende Verbindungen erfordern zu ihrem Gedeihen eine grosse Verdünnung, während Zucker noch bis zu 35% im Nährgemisch vorhanden sein kann, ohne dass dadurch die Hefevegetation sistirt würde. Die Reaction des Nährsubstrates anlangend, zeigen die Hefepilze grosse Empfindlichkeit gegen überschüssiges Alkali, vertragen andererseits aber eine sauere Reaction, doch liegt die Grenze, bei welcher diese eine schädliche Wirkung auszuüben anfängt, niedriger als bei den Schimmelpilzen.

Wesentlich anders als bei den Schimmelpilzen ist das Sauerstoffbedürfniss der Hefepilze, welches sich dahin präcisiren lässt, dass zwar das Wachsthum und die Vermehrung dieser Organismen unter dem Einfluss des Sauerstoffs begünstigt erscheint, dass letzterer aber in dieser Richtung entbehrlich ist, sobald die Bedingungen zu einer Gährthätigkeit seitens der Hefezellen gegeben sind. Ist letzteres nicht der Fall, so hört die Vermehrung auf, und diese beginnt erst wieder, wenn genügende Mengen freien Sauerstoffs hinzutreten. Aus diesem eigenthümlichen Verhalten erklärt sich die Erscheinung, dass Hefezellen im Innern von Körpern, bei Luftabschluss, vegetiren können, vorausgesetzt, dass sie eine Gährthätigkeit unter derartigen Umständen zu entfalten im Stande sind.

Als bedeutsames Moment auch für die Entwickelung der Hefe erweist sich die Temperatur, deren Wirkungen, gleichergestalt wie bei allen übrigen Organismen, ein Minimum, Optimum und Maximum erkennen lassen. Das Optimum scheint bei 25—30° C., das Maximum bei 53° C. und das Minimum bei wenigen Graden über dem Gefrierpunkt des Wassers zu liegen.

Die Wachsthumsverhältnisse sind wesentlich davon beherrscht, inwieweit das Nährmedium eine zur Unterhaltung einer mehr oder weniger intensiven Gährthätigkeit geeignete Beschaffenheit besitzt. So lange die gebotenen Nährstoffe in Menge und Form derart sind, dass die normale Thätigkeit der Zellen ungestört von Statten gehen kann, findet eine fortlaufende Vermehrung durch Sprossung statt. Wenn jedoch die Ernährungsbedingungen ungünstiger werden, tritt eine Unterbrechung der Sprossbildung ein, und statt dieser fängt der Pilz an, Sporen zu bilden, um dadurch seine Existenz zu sichern.

Bei der Keimung der Sporen sind zunächst der Zutritt des Sauerstoffs, Feuchtigkeit, sowie eine angemessene Temperatur erforderlich; die Nährstoffe erweisen sich zunächst belanglos, weil die ersten Sprossungen auf Kosten der in den Sporen angehäuften Reservestoffe vor sich gehen.

3. Die Lebensbedingungen der Spaltpilze.

Der Nahrungsbedarf der Spaltpilze ist ein ausserordentlich verschiedener; während die einen reichliche Mengen gewisser Eiweisskörper und ein Nährsubstrat von ganz bestimmter Zusammensetzung beanspruchen, lassen andere einen grösseren Wechsel der Ernährung zu, gedeihen aber immerhin nur dann, wenn die Nährsubstanz complicirt zusammengesetzte organische Verbindungen enthält. Auch in Bezug auf die Ansprüche an eine verschiedene Concentration des Nährmaterials lassen sich bei den einzelnen Bacterienarten sehr erhebliche Unterschiede constatiren.

Im Allgemeinen gleichen die Nährstoffe der Spaltpilze denen der Schimmelpilze. Diffusible Eiweissstoffe, amidartige Verbindungen, Zuckerarten, Alkalisalze der organischen Säuren u. s. w. sagen ihnen am meisten zu. Weniger günstig sind Ammoniaksalze, die von ihnen aber besser vertragen werden als von den Sprosspilzen. Sie können auch ihren Bedarf an Stickstoff aus Nitraten decken, doch scheint diese Reduction eine durch Stoffwechsel- und Gährungsproducte bewirkte und den eigentlichen Stoffwechsel der Bacterien nur begleitende Erscheinung zu sein (*Flügge*). Durch Ausscheidung von Fermenten, mittelst welcher verschiedene ungelöste Stoffe in lösliche übergeführt werden, können sich die Spaltpilze selbst ausnutzbare Nährmittel bereiten.

Die Nitrificationsbacterien zeigen nach den Untersuchungen *Winogradsky*'s in Bezug auf ihre Ernährung ein von allen übrigen Mikroorganismen abweichendes Verhalten insofern, als sie den Kohlenstoff der Kohlensäure zu assimiliren vermögen, eine Beobachtung, welche, wenn sie weiterhin als zutreffend befunden werden sollte, dazu führen würde, die zur Zeit herrschende Anschauung, dass eine vollständige Synthese organischer Substanzen durch belebte Wesen unabhängig vom Sonnenlicht nicht möglich sei, aufzugeben oder doch derselben eine beschränkte Gültigkeit beizumessen.

Gegen Säureüberschuss im Nährmedium sind die Spaltpilze äusserst empfindlich und gehen unter solchen Umständen meist zu Grunde. Dagegen wird ihre Vermehrung und Thätigkeit durch schwache Alkalescenz des Substrates, welches sie bewohnen, begünstigt. Dadurch unterscheiden sich die Spaltpilze wesentlich von den Schimmelpilzen, welche, wie oben angeführt wurde, gerade das entgegengesetzte Verhalten zeigen. Doch kommen bei jenen auch Ausnahmen vor, d. h. Species, welche, wie z. B. Bacillus aceticus und butyricus, nicht allein eine stark sauere Reaction ohne Schaden vertragen, sondern auch, wie der Essigpilz, überhaupt nur bei einem Säureüberschuss im Nährmedium gedeihen. Solchen Arten ist dann ein Alkaliüberschuss schädlich. Von manchen Pilzen (Micrococcus ureae, Micrococcus ureae liquefaciens, Bacillus ureae) wird ein ausserordentlich hoher Grad von Alkalescenz vertragen, während wiederum andere eine solche Indifferenz gegenüber der Reaction des Nährmittels zeigen, dass sie auf einem saueren Medium ihre Entwickelung beginnen, dann die Reaction durch ihren Stoffwechsel in eine alkalische verwandeln und nun bei Alkaliüberschuss weiter gedeihen (*Flügge*). Im Uebrigen zeigen die

meisten Spaltpilze, dass sie, ebensowenig wie die Schimmel- und Sprosspilze, auf einem Nährsubstrat sich überhaupt nicht oder nur in beschränkter Weise fortzuentwickeln vermögen, in welchem der Säure- und Alkaligehalt eine gewisse Grenze überschreiten oder welches eine höher concentrirte Salzlösung, gleichviel welcher Art, in sich einschliesst.

In Bezug auf das Sauerstoffbedürfniss hat man nach *P. Liborius*[1]) unter den Bacterien drei Klassen zu unterscheiden.

1. Obligate Anaërobien, welche für alle Lebensfunctionen auf die Abwesenheit von Sauerstoff angewiesen sind; einige unter diesen erregen Gährung, andere vermehren sich ohne Gährung; für erstere ist aber die Gährung keine unerlässliche Bedingung ihrer Vermehrung. Sauerstoffzufuhr sistirt alle Lebensäusserungen dieser Bacterien. Hierher gehören z. B. Bacillus butyricus, B. denitrificans II, B. muscoïdes, Spirillum Rugula (Bacterium termo).

2. Facultative Anaërobien, welche für gewöhnlich auf Sauerstoffzufuhr angewiesen sind, bei reichlichen Sauerstoffmengen am kräftigsten vegetiren. Dieselben können auch bei vollständiger Sauerstoffentziehung noch eine beträchtliche Consumtion des Nährmaterials und eine bedeutende Vermehrung leisten, wenn auch bei Beschränkung des Sauerstoffzutrittes eine Verlangsamung ihres Wachsthums eintritt. Soweit Untersuchungen darüber vorliegen, sind in diese Gruppe zu rechnen: Bacillus acidi lactici, B. erythrosporus, B. candicans, B. putrificus coli, B. mycoïdes, B. stolonatus, B. aërogenes. Es mag aber noch eine ganze Reihe von Bacterienarten hierher zu rechnen sein, wie aus der Beobachtung *Nägeli*'s zu schliessen ist, dass aërobe Bacterien unter Luftabschluss vegetiren und sich vermehren können, wenn sie sich unter Verhältnissen befinden, unter denen ihnen Gelegenheit gegeben ist, eine lebhafte Gährung zu erregen.

Bei manchen Spaltpilzen werden die Wirkungen, die sie auf das Substrat ausüben, verschieden sein, je nachdem sie unter dem Zutritt oder Abschluss des atmosphärischen Sauerstoffs zu leben gezwungen sind. Wenigstens ist dies für Bacillus mycoïdes nachgewiesen (S. 31), der, wenn er sich als aërob in Eiweisslösungen entwickelt, das Albumin verbrennt und zur Bildung von Ammoniak Veranlassung giebt, während er in gezuckerten Nitratlösungen unter Luftabschluss den Zucker verbrennt und den hierzu nöthigen Sauerstoff den leicht reducirbaren Nitraten entnimmt. Die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, dass auch andere Bacterienarten ein ähnliches Verhalten aufzuweisen haben.

3. Obligate Aërobien, welche unter allen Umständen reichlicher Sauerstoffzufuhr bedürfen; wird diese erheblich beschränkt, so sistiren sämmtliche Lebensäusserungen; genauer studirte Gährungen sind von keinem dieser Bacterien bekannt.

Da jeder Vegetationsprocess von der Temperatur der umgebenden Medien abhängig ist, so ist auch derjenige der Bacterien in seinem Verlauf wesentlich von den Wärmeverhältnissen beherrscht. Nach den vorliegenden Daten haben die in Rede stehenden Organismen bei günstiger Ernährung in dieser Hinsicht einen weiten Spielraum und ein hoch gelegenes Optimum der Wachsthumstemperatur. Bacterium Termo wächst z. B. zwischen 5 und 40°; das Optimum liegt bei 30—35° C. Bacillus butyricus hat nach *Fitz* das Optimum bei 40°, das Maximum bei 45° C. Für

[1]) Zeitschrift f. Hygiene. Bd. I. 1886. S. 115.

B. aceticus liegt das Optimum zwischen 20 und 30° C.; unter 10° entwickelt sich derselbe äusserst langsam, ebenso über 35°; das Maximum liegt wenige Grade höher. Nach *Brefeld* erfolgte die Entwickelung von Bacillus subtilis bei 6° sehr langsam, bei 12,5° verflossen bis zum Beginn jeder Neutheilung 4—5 Stunden, bei 25° C. ¾ Stunden, bei 30° C. ½ Stunde. Die Temperaturen für die Keimung scheinen höher zu liegen, wenigstens bei einigen Arten. Ueberschreitung der Vegetationstemperaturgrenzen zunächst nach unten wird jedenfalls von einer Anzahl Bacterien in so weitgehendem Maasse ohne Zerstörung des Lebens ertragen, dass man mit Rücksicht auf die in Wirklichkeit vorkommenden Erscheinungen von unbegrenzt reden darf. Die obere Tödtungstemperatur ist für die vegetativen Zellen der meisten Formen ungefähr die gleiche wie für die meisten anderen vegetirenden Pflanzenzellen, nämlich 50—60° C. Einige derselben erhalten sich jedoch auch bei Temperaturen, welche über 100° C. gelegen sind.

Die Sporenbildung scheint bei den Spaltpilzen an ähnliche Bedingungen, wie jene der Spross- und Schimmelpilze geknüpft zu sein, insofern bei zusagendem Nährmaterial die Vermehrung derselben durch Theilung stattfindet, während bei Verschlechterung und Erschöpfung des Nährmediums Sporen gebildet werden, eine im Allgemeinen seltene Erscheinung, deren Bedingungen noch nicht genügend aufgeklärt worden sind. Letzteres gilt auch von der Sporenkeimung, von welcher man nur weiss, dass dieselbe bei einem gewissen Wassergehalt, einer höheren, für jede Species verschiedenen Temperatur und bei den meisten Arten bei Sauerstoffzutritt in vollkommenster Weise vor sich geht. Nur bei den obligaten Anaërobien scheint die Gegenwart von Sauerstoff bei der Keimung der Sporen nicht erforderlich, sondern sogar schädlich zu sein.

4. Das Verhalten der Schimmel-, Spross- und Spaltpilze zu einander.

Durch das gleichzeitige Auftreten von Individuen der drei hier unterschiedenen Hauptgruppen oder verschiedener Arten innerhalb derselben auf einem und demselben Nährsubstrat entwickelt sich eine Concurrenz unter den einzelnen Pilzformen, in welcher jene das Uebergewicht oder die alleinige Herrschaft erlangen, die im gegebenen Fall die günstigsten Bedingungen zu ihrer Vermehrung und Entwickelung antreffen. In dem einen Fall erweist sich die chemische Beschaffenheit des Nährmediums oder die Concentration, die Reaction, der Wassergehalt desselben, in dem anderen Fall der Luftzutritt, die Temperatur u. s. w. von maassgebendstem Einfluss nach fraglicher Richtung. So werden, um einige Beispiele anzuführen, im wasserärmeren, saueren, der Luft zugänglichen Gemenge die Schimmel- resp. die Sprosspilze die Oberhand gewinnen und unter solchen Umständen die Spaltpilze mehr oder weniger vollständig verdrängen, während andererseits letztere den Sieg davontragen, wenn das Substrat eine geringere Concentration, eine alkalische Beschaffenheit und einen höheren Wassergehalt besitzt und der Luftzutritt beschränkt oder völlig aufgehoben ist. In ähnlicher Weise kann auch zwischen verschiedenen Arten einer und derselben Gruppe eine Concurrenz entstehen, in welcher dann andere Bedingungen als die durch die Beschaffenheit der Nährsubstanz bedingten für das Ueberwiegen oder die vollständige Verdrängung der einen oder anderen Art ausschlaggebend sind. Unter solchen Verhältnissen kann die Temperatur sich bedeutungsvoll erweisen. Säet man z. B. ein Gemisch von Penicillium- und Aspergillus-Sporen aus, so wird

bei niedriger Temperatur Penicillium, bei höherer dagegen Aspergillus das Nährmedium vollständig occupiren.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, dass in der Natur die verschiedenen Mikroorganismen auf die Substrate in äusserst wechselvoller Weise einwirken, je nach den vorhandenen Lebensbedingungen. Da letztere für die einzelnen Species sehr verschieden sind und sich überdies fortwährend ändern, so kann es nicht Wunder nehmen, dass sowohl das Auftreten der einzelnen Organismen als auch die durch dieselben hervorgerufenen chemischen Processe einem steten Wechsel unterliegen und aus diesem Grunde die Ermittelung der bezüglichen Vorgänge in der Natur, namentlich der Ursachen der Erscheinungen im concreten Fall, mit zu den schwierigsten Aufgaben der Naturforschung gehört.

VII. Die Bedingungen der Zersetzung der organischen Stoffe.

Nachdem im Bisherigen die für die Betheiligung niederer Organismen an den Zersetzungsvorgängen in Betracht kommenden Thatsachen ausführlicher erörtert worden sind, bedarf es nunmehr einer Darstellung der Bedingungen, an welche in specie die bezüglichen Processe geknüpft sind. Zwar wird, da letztere von der Thätigkeit niederer Organismen beherrscht sind, a priori geschlossen werden dürfen, dass der Verlauf jener Vorgänge sich den biologischen Eigenschaften der an denselben betheiligten Lebewesen, wie solche oben geschildert wurden, entsprechend gestalten werde; aber der auf diesem Wege gewonnene Einblick würde sich zur Beurtheilung der einschlägigen Verhältnisse als unzureichend erweisen, einerseits weil die maassgebenden Factoren in Bezug auf ihre Wirkung in den mannigfachsten Wechselbeziehungen stehen, die erst einer detaillirten Feststellung bedürfen, andererseits weil noch verschiedenen Momenten, welche bisher nur andeutungsweise berührt wurden, bei dem Zerfall der organischen Stoffe eine wichtige Rolle zuertheilt ist. Wenn in dem Folgenden nur auf die Verwesung und die Fäulniss Rücksicht genommen worden ist, so soll die Berechtigung hierzu aus dem Umstande hergeleitet werden, dass die beiden Processe für die Bodencultur von hervorragendster Bedeutung sind, während die übrigen ein gleiches Interesse nicht in Anspruch nehmen und um so eher hier ausser Betracht gelassen werden können, als die dieselben beherrschenden Einwirkungen bereits oben an geeigneter Stelle erörtert wurden (S. 44—73).

1. Die Bedingungen der Verwesung (Eremakausis).

A. Die chemische und physikalische Beschaffenheit der organischen Stoffe.

Für die unter dem freien Zutritt des atmosphärischen Sauerstoffs sich vollziehende Zersetzung der organischen Stoffe ist die Beschaffenheit letzterer insofern belangreich, als die Intensität der Verwesung sowohl von der Menge, der Concentration und Zerkleinerung, als auch von dem Grade des Zerfalls und der chemischen Beschaffenheit des Materials in beträchtlichem Grade abhängt.

a) Die Menge und Concentration der Substanz.

Behufs Ermittelung des Einflusses eines verschiedenen Gehaltes des Materials an organischen Stoffen auf die Intensität des Zersetzungsprocesses wurden vom Verfasser[1]) vier Gemische von Quarzsand (380 gr) und verschiedenen Mengen Pferde-

[1]) Journal für Landwirthschaft. XXXIV. Jahrg. 1886. S. 271.

düngerpulver (5, 10, 15 und 20 gr) mit je 40 gr Wasser durchfeuchtet und in U-förmige Röhren gefüllt, welche in einem Wasserbade von 30° C. standen. Die während 24 Stunden entwickelte Kohlensäure wurde täglich nach dem *v. Pettenkofer*'schen Verfahren bestimmt, wobei sich im Mittel von je sechs Einzelbeobachtungen Folgendes herausstellte:

	Versuch I.			
	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Luft			
	5 gr.	10 gr.	15 gr.	20 gr.
	organische Substanzen			
Mittel	**41,000**	**54,112**	**56,598**	**57,550**
Relatives Verhältniss	1	1,32	1,38	1,40.
	Versuch II.			
Mittel	**24,689**	**42,359**	**48,054**	**51,098**
Relatives Verhältniss	1	1,72	1,95	2,07.

Demnach nimmt der Kohlensäuregehalt der Bodenluft, der unter gleichen äusseren Verhältnissen als Maassstab für die Intensität des Verwesungsprocesses dienen kann, zwar mit der Menge der organischen Substanz zu, aber in einem ungleich geringeren Verhältniss, derart, dass bei dem Ueberschreiten einer gewissen Grenze — im vorliegenden Fall bei ca. 15 gr organischer Substanz — eine weitere irgendwie in Betracht kommende Kohlensäureproduction nicht beobachtet wird. Diese Erscheinung kann keineswegs darauf beruhen, dass in vorliegenden Versuchen der für die Zersetzung erforderliche Sauerstoff mangelte, weil nach Abzug des Volumens der entwickelten Kohlensäure von dem in den Gefässen von einem zum anderen Versuch eingeschlossenen Luftvolumen noch ein für die weitere Verwesung ausreichendes Luftquantum disponibel war, sondern dieselbe ist, aller Wahrscheinlichkeit nach, auf die antiseptischen Eigenschaften der Kohlensäure selbst, wie solche durch *H. Kolbe*[1]) nachgewiesen worden sind, zurückzuführen. Hat die Kohlensäure sich in einer gewissen Menge in dem im Zerfall begriffenen Material angesammelt, so wird die Thätigkeit der Mikroorganismen und hierdurch die Oxydation des Kohlenstoffs der organischen Stoffe gehemmt. Je grösser also die Menge der letzteren ist, um so geringer ist die Intensität der Verwesung.

Für die Zersetzung der stickstoffhaltigen Stoffe gelten in Bezug auf die Nitrification dieselben Gesetzmässigkeiten. Schon *Leone*[2]) hatte darauf aufmerksam gemacht, dass bei einem höheren Gehalt des Materials an organischen Substanzen die Nitrification nicht allein unterbrochen wird, sondern dass auch unter Umständen die vorhandenen Nitrate und Nitrite sogar in Ammoniak zurückverwandelt werden. Durch neuere Versuche desselben Forschers[3]) wurde das früher mittelst Lösungen ermittelte Resultat für die Ackererde bestätigt und festgestellt, dass starke Düngungen mit organischen Stoffen zu einer Zerstörung der Nitrate und Nitrite führen, was nicht statthat, wenn nur eine schwache Düngung vorgenommen wurde.

---

[1]) Journal für praktische Chemie. Neue Folge. Bd. 26. 1882. S. 149—155.

[2]) Gazetta chimica italiana. Vol. X. p. 505.

[3]) Atti della R. Accademia dei Lincei. Ser. IV. Rendiconti. Vol. VI. Roma. 1890. p. 33—35.

Neuerdings hat sich *P. Pichard*[1]) eingehender mit vorwürfiger Frage beschäftigt und den Nachweis geliefert, dass mit der Vermehrung des organischen Stickstoffs in einem Material die absolute Menge der gebildeten Salpetersäure zwar zu-, aber die relative Menge derselben (in Procenten des vorhandenen Stickstoffs) beträchtlich abnimmt, während die Ammoniakbildung zum Stickstoffgehalt der organischen Substanz in einem geraden Verhältniss steht. Daraus folgt — was in praktischer Beziehung sehr wichtig ist —, dass mit der Zunahme des organischen Stickstoffs in einer verwesenden Substanz die absolute Menge des producirten Ammoniaks sich vermehrt, jene der Salpetersäure sich aber vermindert. Nach *Pichard* kann angenommen werden, dass die Nitrification so lange lebhaft von Statten geht, als die Substanz 1 gr organischen Stickstoff pro kg enthält, dass dieselbe aber bei dem Ueberschreiten dieser Grenze relativ bedeutend abnimmt zu Gunsten der Ammoniakbildung.

Die geschilderte ungünstige Beeinflussung der Salpeterbildung wird darauf zurückgeführt werden können, dass mit der Vermehrung der organischen Stoffe eine grössere Menge von Kohlensäure erzeugt wird, welche die Thätigkeit der Mikroorganismen hemmt. Man könnte allerdings auch geneigt sein, zur Erklärung fraglichen Phänomens den Umstand heranzuziehen, dass das gebildete kohlensaure Ammoniak von nachtheiliger Wirkung auf das Salpeterferment sei, allein eine solche Annahme würde für die von *Pichard* ausgeführten Versuche insofern keine Giltigkeit beanspruchen können, als die Erde zur Umwandlung des kohlensauren Ammoniaks genügende Mengen von Kalksulfat enthielt. Nur in dem Falle, wo die Menge des Kalkes ungenügend ist, die Bindung des Ammoniaks herbeizuführen, wird die in Rede stehende Erscheinung der Wirkung des kohlensauren Ammoniaks (siehe unten B. f.), wahrscheinlich neben derjenigen der Kohlensäure zuzuschreiben sein.

Im Uebrigen ist die Nitrification der Ammoniaksalze von deren Menge wesentlich beeinflusst, wie *P. P. Dehérain*[2]) nachgewiesen hat. Es wurden je 20 gr Erde auf Untertassen ausgebreitet, mit verschiedenen Mengen von Ammonsulfat versehen, andererseits ungedüngt gelassen und unter eine Glocke, in welcher die Luft circulirte, gebracht. Vom 27. September bis 15. October 1884 hatten sich folgende Nitratmengen (mgr) gebildet:

	Gebildete Salpetersäure.	
	1.	2.
Erde in ursprünglichem Zustande	12,20	13,5
„ mit 0,010 gr Stickstoff in Form von Ammonsulfat	10,03	9,7
„ „ 0,030 „ „ „ „ „ „	4,50	2,2.

Demnach war das zugeführte Ammonsulfat nicht allein nicht nitrificirt worden, sondern hatte ausserdem die Nitrification des in organischer Form im Boden enthaltenen Stickstoffs hintangehalten und zwar um so mehr, je grösser die Menge des angewendeten Salzes war.

[1]) Comptes rendus. T. CXIV. p. 81—84. — Annales agronomiques. T. XVIII. Nr. 3. p. 108—119.

[2]) Annales agronomiques. T. XIII. Nr. 6. 1887. p. 241—261.

Da die Erde in vorliegenden Versuchen ziemlich trocken war, so suchte Verfasser zu ermitteln, ob ähnliche Vorgänge auch im stark feuchten Zustande des Bodens stattfinden. Es wurde Gartenerde benutzt, welche 32 % Wasser enthielt. In 100 gr Erde hatten sich während 36 Tagen bei Zufuhr verschiedener Mengen von Ammonsulfat folgende Salpetermengen gebildet:

Zugeführter Stickstoff in Form von Ammonsulfat.	Gebildete Salpetersäure in 36 Tagen.	In 100 kg Erde während eines Tages gebildete Salpetersäure.
gr	gr	gr
0,020	0,075	22,0
0,040	0,070	20,0
0,060	0,060	17,0
0,080	0,042	12,0
0,100	0,013	3,8.

Es war also ein ansehnlicher Theil des Ammoniakstickstoffs nitrificirt worden, aber die gebildeten Salpetermengen waren um so kleiner, je grösser die Zufuhr von Ammoniaksalz war. Vergleicht man die Resultate mit denen des vorigen Versuches, so ergiebt sich, dass die Bodenfeuchtigkeit von wesentlichem Belang für die Ueberführung des Ammoniaks in Salpetersäure ist, insofern die Nitrification in dem feuchteren Boden mit höherer Intensität verläuft.

In analoger Weise zeigt sich auch der jeweilige Concentrationsgrad in nitrificirenden Flüssigkeiten (Harn, Ammoniaksalzlösung) als ein ausserordentlich wichtiger Factor, dessen Einfluss eine Gesetzmässigkeit erkennen lässt, die sogar bei Mitwirkung anderer Bedingungen nur wenig beeinflusst wird. Einen Beleg hierfür liefern die Ergebnisse der Versuche von *J. Soyka.*[1])

Concentrationsgrad.			Erstes Auftreten der Salpetersäure
Harn unverdünnt	100 %	bei beschränktem Luftzutritt	nach 4 Mon. noch nicht nachweisbar
„ verdünnt	50 „		„ „ „ „ „ „
„ „	10 „		am 36. Tage
„ „	1 „		„ 22. „
Harn unverdünnt	100 %	bei ungehindertem Luftzutritt	nach 4 Mon. noch nicht nachweisbar
„ verdünnt	50 „		„ „ „ „ „ „
„ „	10 „		am 7. Tage
„ „	1 „		„ 4. „

Auch in den mit Ammoniaksalzen angestellten Untersuchungen von *R. Warington*[2]) stellte sich heraus, dass die Salpeterbildung immer zuerst in der schwächsten Lösung beginnt und dass wahrscheinlich für jede Lösung eine Grenze der Concentration existirt, über welche hinaus die Salpeterbildung unmöglich ist. Man ist also im Stande, den Ablauf des Processes wesentlich zu beschleunigen, andererseits aber auch vollständig — wenigstens für längere Zeiträume — zu verhindern. Hierbei hat man es mit analogen Verhältnissen zu thun, wie jene sind, die bei dem Einfluss erhöhten Luftzutrittes zur Geltung kommen; bei diesem hat man als wesentlichen

---

[1]) Zeitschrift für Biologie. Bd. XIV. 1878. S. 449—482.
[2]) Journal of the chemical Society. Vol. XLV. p. 637—682.

Factor die durch ihn bedingte innigere Wechselwirkung zwischen Flüssigkeit und Luft angesehen, die natürlich bei der Verdünnung ebenfalls, wenn auch in anderer Weise erzielt wird.

b) Die Zerkleinerung und Vertheilung der Substanz.

Bei der experimentellen Prüfung der Frage des Einflusses der mechanischen Zerkleinerung resp. der Vertheilung der organischen Substanz auf deren Verwesung wurde vom Verfasser[1]) gepulverter Torf, der durch Siebe in verschiedene Grössensortimente gebracht worden war, sowie gepulvertes und in 1 resp. 5 cm lange Stücke gehacktes Erbsenstroh verwendet. In Versuch I wurden 40 gr Torfpulver mit 370 gr Quarzsand und 75 gr Wasser gemischt, in Versuch II wurden dieselben Substanzenmengen, jedoch statt 75 gr nur 40 gr Wasser verwendet. In dem in 50 Liter fassenden Blechcylindern im Freien angestellten Versuch III wurden dem Boden (61 kg humose Ackererde) je 383 gr Erbsenstroh in gleichmässiger Vertheilung einverleibt. An Kohlensäure entwickelten vorstehend bezeichnete Versuchsmaterialien folgende Mengen (im Mittel von je 4, resp. 3 und 12 Einzelbeobachtungen):

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft:

	Feinheit des Torfpulvers			
	0,0—0,25 mm.	0,25—0,5 mm.	0,5—1 mm.	1—2 mm.
I.	17,069	15,682	15,703	13,773
II.	54,537	48,336	39,718	41,484
	ungedüngt	gepulvertes	1 cm langes Erbsenstroh	5 cm langes
III.	4,046	11,004	12,058	11,254.

Aus diesen Zahlen scheint hervorzugehen, dass **schwer zersetzbare organische Stoffe (Torf) um so besser verwesen, je mehr dieselben zerkleinert, resp. vertheilt sind, während bei leicht verwesenden Substanzen (Erbsenstroh) die Feinheit der Theilchen in dieser Beziehung belanglos ist.** Im ersteren Fall ist die Wirkung der mechanischen Beschaffenheit der Substanz auf deren Zerfall ohne Zweifel darauf zurückzuführen, dass mit der Abnahme der Grösse der Partikel die Oxydationsbedingungen sich günstiger gestalten. Zur Erklärnng der an zweiter Stelle angeführten Erscheinung ist wahrscheinlich die an sich grössere Porosität und die in Rücksicht auf die Ernährung der betheiligten Mikroorganismen günstigere chemische Beschaffenheit des Materials in Anspruch zu nehmen.

Aus Vorstehendem folgt die Vortheilhaftigkeit der Zerkleinerung derjenigen als Düngemittel verwendeten Materialien, welche an sich eine sehr geringe Zersetzungsfähigkeit besitzen. Dahin gehören z. B. alle hornigen Gebilde des Thierkörpers (Hörner, Klauen, Haare, Horn- und Wollabfälle), die Lederabfälle, die organischen Stoffe der rohen Knochen u. s. w. Durch Ueberführung dieser Substanzen mittelst mechanischer Zerkleinerung in Pulver- resp. Mehlform (Horn-, Woll- und Leder-, Knochenmehl u. s. w.) wird zwar deren Verwesung nicht unbeträchtlich erhöht, in stärkerem Maasse wird dies jedoch in der Regel bewirkt, wenn durch eingreifendere

[1]) Journ. f. Landw. XXXIV. Jahrg. 1886. S. 273.

Mittel, wie durch Rösten, durch Dämpfen unter höherem Druck oder durch sogenanntes Aufschliessen mit Schwefelsäure die Textur in der Masse gelockert wird und die Pulverisirbarkeit der Substanz eine weitergehende Förderung erfährt. So übte z. B. in den Versuchen des Verfassers das Dämpfen bei 3 Atm. Druck eine sehr günstige Wirkung auf die Zersetzung des Leders und Hornes aus. Es lieferte Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Luft pro 1 gr Kohlenstoff, im Mittel von je 6 Einzeluntersuchungen:

	Kohlenstoffgehalt. %.	Gewichtsmenge, 1 gr Kohlenstoff enthaltend gr.	Kohlensäureproduction.
Ledermehl, rohes	48,82	2,05	**9,507**
„ gedämpftes	47,90	2,09	**14,457**
Hornmehl, rohes	45,40	2,20	**6,119**
„ gedämpftes	45,34	2,25	**8,509.**

Durch das Dämpfen der Materialien war sonach die Verwesung in beträchtlichem Grade gefördert worden. Das Rösten der Hornabfälle und die Behandlung derartiger Substanzen, z. B. der Wollabfälle, mit Schwefelsäure übt eine ähnliche günstige Wirkung aus.

c) Der Zersetzungsgrad der organischen Substanz.

Von der Erwägung ausgehend, dass die in verschiedenen Zersetzungsstadien befindlichen Substanzen einen ungleichen, und zwar mit dem Alter zunehmenden Kohlenstoffgehalt besitzen (S. 14) und dass in Folge dessen bei Anwendung gleicher Gewichtsmengen dieser Stoffe für die relative Verwesungsfähigkeit derselben ein zutreffender Vergleich nicht gefunden werden würde, verfuhr Verfasser in seinen diesbezüglichen Versuchen[1]) in der Weise, dass er zunächst den Kohlenstoffgehalt des Materials bestimmte und hiernach eine Substanzmenge zu Grunde legte, welche 1 gr Kohlenstoff enthielt. Die abgewogene Portion wurde in allen Versuchen mit 400 gr reinem Quarzsand und 50 ccm dest. Wasser in einer Porcellanschale innig gemischt und hierauf sofort in U-förmige, in ein Wasserbad von 30° C. gestellte Röhren verbracht. Auf diese Weise gelang es, die Gleichheit aller äusseren Factoren der Verwesung in allen comparativen Versuchen herzustellen. Um die erhaltenen Resultate unter sich vergleichbar zu machen, war es nur noch nöthig, gleiche Zeitintervalle zwischen den einzelnen Beobachtungen inne zu halten. Um dies zu bewirken, wurde bei Einleitung der einzelnen Reihen die Mischung und Einfüllung des Materials in der Zeit von 8—10^h a. m. vorgenommen und die Versuchsröhren genau 24 Stunden in dem Wasserbade belassen, worauf die erste Aspiration der Bodenluft, die jedesmal in Quantitäten von 2 Litern erfolgte, innerhalb eines Zeitraumes von 2 Stunden, also in jedem Fall von 10—12^h a. m. ausgeführt wurde. In derselben Weise wurde an allen übrigen Tagen verfahren. Die Verwesung der betreffenden Materialien war durch Entwickelung nachfolgend zusammengestellter Kohlensäuremengen charakterisirt:

---

[1]) Journ. f. Landw. XXXIV. Jahrg. 1886. S. 273.

Material.	Kohlenstoffgehalt[1]). %	Gewichtsmenge, 1 gr Kohlenstoff enthaltend. gr	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft[2]).
Rindviehmist, frisch	24,16	4,14	13,431
„ 8 Wochen alt	30,27	3,33	11,706
„ 20 „ „	34,51	2,89	8,248
Schafmist, frisch	35,94	2,78	10,390
„ mittelzersetzt	37,05	2,69	8,043
Torf (Cunrau) aus 10,5 – 36,8 cm Tiefe	40,03	2,49	3,229
„ „ „ 42,1 – 73,6 „	43,09	2,32	3,052
„ „ „ 78,9 – 115,7 „	43,25	2,30	2,827
Torf (Donaumoos) aus 0,0 – 0,2 m Tiefe	40,12	2,49	2,934
„ „ „ 0,2 – 0,5 „	42,64	2,34	2,724
„ „ „ 0,5 – 0,8 „	42,80	2,33	2,545
„ „ „ 0,8 – 1,1 „	44,05	2,27	2,394
„ „ „ 1,1 – 1,4 „	45,24	2,21	2,262

Diesen Zahlen ist zu entnehmen, dass die organischen Substanzen um so schwieriger verwesen, je weiter deren Zersetzung bereits vorgeschritten ist. Der Rindvieh- und der Schafmist lieferten, wie die Zahlen deutlich zeigen, um so geringere Kohlensäuremengen, je älter sie waren. Ebenso nahm bei dem Torf die Kohlensäureproduction ab, je tieferen Schichten des Moores derselbe entstammte, je weiter also der Zersetzungsprocess in der Masse vorgeschritten war. Die Richtigkeit des vorstehenden Satzes wird ferner durch die bei fast allen Versuchen solcher Art sich ergebende Thatsache nachgewiesen, dass anfangs die Kohlensäureentwickelung am energischsten war, während dieselbe bei Fortführung der Versuche stetig abnahm.

Dass die Intensität der Oxydation des Kohlenstoffs in den unzersetzten organischen Stoffen anfangs grösser ist als später und in stärkerem Maasse erfolgt als bei den bereits in Zersetzung übergegangenen Materialien von sonst gleicher Beschaffenheit, ist leicht verständlich, wenn man berücksichtigt, dass der den betreffenden Substanzen innewohnende Vorrath an chemischen Spannkräften um so grösser ist, je mehr dieselben noch Stoffe enthalten, welche den durch den Lebensprocess der Pflanzen gebildeten chemischen Verbindungen möglichst nahe kommen. Verfällt eine an chemischen Spannkräften möglichst reiche, d. h. noch unzersetzte Substanz den Verwesungsfactoren, so wird dieselbe gleich anfänglich die höchst mögliche Kohlensäureproduction bewirken. Ist der erste Zerfall der Hauptsache nach beendet, so tritt eine stets abnehmende Entwickelung der Kohlensäure ein, da jetzt nur mehr organische Reste von humusartigem Charakter vorhanden sind, die in Folge ihrer Beständigkeit nur langsam sich oxydiren und somit wenig mehr zur Vermehrung der Kohlensäure beizutragen vermögen.

Analog dem Kohlenstoff verhält sich auch der Stickstoff der stickstoffhaltigen Bestandtheile der organischen Substanzen. So ergiebt sich aus den Versuchen von

[1]) Die betreffenden Zahlen beziehen sich auf die lufttrockene Masse.

[2]) Mittel aus je sechs Einzelversuchen.

A. Morgen[1]) über die Zersetzbarkeit des Horn- und Ledermehls, dass die bei Weitem grösste Menge Stickstoff sich in den ersten 8 Tagen der Fäulniss gelöst hatte, dass aber in weiterem Verlauf diese Menge immer geringer wurde. Dass diese Erscheinung sich nicht nur bei der Fäulniss, sondern auch bei der Verwesung bemerkbar macht, weisen in eclatanter Weise die Versuche von *C. F. A. Tuxen*[2]) nach. In denselben wurden glasirte Thoncylinder mit je 5 kg Boden beschickt und zwar einerseits mit Lehmboden, andererseits mit lehmigem Sandboden. Um den natürlichen Verhältnissen möglichst nahe zu kommen, wurde dem letzteren so viel der Düngemittel hinzugefügt, dass der Stickstoffgehalt etwa 2 : 1000 betrug (auf bei 100^0 getrockneten Boden berechnet). Dieser Gehalt entsprach annähernd dem des Lehmbodens (1,8 : 1000).

Der Versuchsboden wurde, um die für die Umbildung der stickstoffhaltigen Düngestoffe günstigsten Verhältnisse zu erlangen, feucht erhalten, jedoch eine Versauerung durch genügenden Abfluss des Wassers verhindert; wenn auch natürlich einem Verlust von Salpetersäure durch abfliessendes Wasser vorgebeugt war. Die erste Bestimmung des Gehaltes an Stickstoff, Ammoniak und Salpetersäure galt als Ausgangspunkt für die Beobachtung. Die gefundenen Resultate sind die folgenden:

Stickstoff in Form von Salpetersäure und Ammoniak in Procenten der zugesetzten Stickstoffmenge.

Datum.	Stickstoff in Form von:	Lehmboden				Lehmiger Sandboden			
		ohne Zusatz	mit Knoch.-mehl.	mit Fisch-guano.	mit Pferde-dünger.	ohne Zusatz.	mit Knoch.-mehl.	mit Fisch-guano	mit Pferde-dünger.
1. Juni 1880	Ammoniak	0,80	1,35	2,55	1,25	0,10	1,22	2,55	2 55
„ „	Salpetersäure	0,40	0,65	0,55	0,45	0,25	0,35	0,30	—
1. Juli „	Ammoniak	0,45	51,45	55,10	3,53	0,20	50 00	38,20	3,25
„ „	Salpetersäure	0,80	2,75	1,40	4,43	0,15	1,00	0,35	1,92
1. Sept. „	Ammoniak	1,25	8,70	7,82	8,00	—	35,55	19,45	8,51
„ „	Salpetersäure	1 50	63,00	50,00	3,11	0,25	19,05	21,55	1.98
1. Nov. „	Ammoniak	0,40	5.30	5,86	9.02	—	19,40	7.50	—
„ „	Salpetersäure	1,15	46,25	36.55	23,91	0,10	27,65	23,30	8,70
20. April 1881	Ammoniak	—	4,10	6,20	1,31	—	20,40	12,65	5,21
„ „	Salpetersäure	2,65	46,25	42.56	21,20	0,10	63,00	29,85	4,91
20. Juni „	Ammoniak	0,30	7,10	10 80	7,97	0,15	21,10	13,65	23,00
„ „	Salpetersäure	0,80	61,55	43,35	21,00	0,15	64,50	26,15	33,09
1. Sept. „	Ammoniak	0,55	1,90	9,50	5,00	0,15	2,70	1,80	12,76
„ „	Salpetersäure	1,00	65,65	50.00	28,00	0,25	66,65	39,35	61,20

Sieht man zunächst von dem ungedüngten und dem mit Pferdedünger gedüngten Boden ab, so lässt sich deutlich bei den übrigen Böden erkennen, dass die Umwandlung der stickstoffhaltigen Bestandtheile der Düngemittel (Knochenmehl und Fischguano) Anfangs ungleich schneller von Statten geht als in späteren Stadien des Zerfalls. Schon nach einem Monat waren 50 % des vorhandenen Stickstoffs in Ammoniak und diese nach mehreren Monaten in Salpetersäure umgesetzt. Es verlaufen also zwei Processe nach einander, zuerst eine Bildung von Ammoniak und

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Bd. XXVI. 1880. S. 51—72.

[2]) Undersögelser vedrörende de Krälstofholdige Gjödningsstoffers Omdannelse i Jordbunden. Tiedsskrift for Landökonomie. 1884.

dann eine Oxydation desselben zu Salpetersäure. Der Stickstoff des Humus des ungedüngten Bodens erlitt nur eine sehr langsame Umbildung und jener des Pferdedüngers zeigte ein abweichendes Verhalten. Letzteres Düngemittel hat sichtlich verschiedene Stickstoffverbindungen; seine Umsetzung im lehmigen Sandboden geht leichter und rascher vor sich als im Lehmboden, in welchem im Herbste allmählich in der Zersetzung ein Stillstand einzutreten scheint, um erst zum Frühjahr eine stärkere Thätigkeit auf's Neue zu beginnen.

d) Die chemische Zusammensetzung der Substanz.

Die Verwesungsfähigkeit der organischen Substanzen wird in chemischer Beziehung besonders beherrscht von deren Gehalt an höher zusammengesetzten Verbindungen (Eiweissstoffe, amidartige Verbindungen), von der Löslichkeit dieser letzteren, von der Menge der mineralischen Bestandtheile, sowie von dem Vorkommen von solchen Stoffen, welche die Einwirkung der äusseren Factoren herabzumindern vermögen.

Unter übrigens gleichen Umständen hat der Stickstoffgehalt der organischen Substanzen innerhalb gewisser Grenzen einen ganz hervorragenden Einfluss auf die Verwesung derselben. Dies ergiebt sich schon zunächst aus der Thatsache, dass stickstoffarme und holzfaserreiche Pflanzentheile (Getreidestroh) sich langsamer zersetzen als stickstoffreiche und holzfaserarme (Leguminosenstroh). Einen Beleg hierfür liefern u. a. folgende Daten aus Versuchen[1]) des Verfassers:

	Kohlenstoffgehalt. %	Gewichtsmenge, enthaltend, 1 gr Kohlenstoff. gr.	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft (Mittel aus je 6 Beobachtungen).
Sojabohnenstroh	39,75	2,52	**23,673**
Erbsenstroh	40,75	2,45	**22,156**
Ackerbohnenstroh	39,84	2,51	**22,076**
Sommergerstestroh	41,43	2,41	**19,562**
Maisstroh	40,74	2,45	**18,837**
Sommerweizenstroh	42,54	2,35	**18,560**
Sommerroggenstroh	41,95	2,38	**18,189**
Sommerhaferstroh	39,97	2,50	**17,388**
Winterroggenstroh	43,36	2,90	**15,936.**

Für die stärkere Verwesungsfähigkeit der stickstoffreicheren Pflanzentheile gegenüber den stickstoffärmeren spricht ausserdem die Thatsache, dass die Blätter der Pflanzen schneller dem Zerfall unterliegen als die Stengel und Wurzeln derselben, wie folgende Zahlen erkennen lassen:

	Kohlenstoffgehalt. %	Gewichtsmenge, enthaltend, 1 gr Kohlenstoff. gr.	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft (Mittel aus je 6 Beobachtungen).
Sojabohne, Blätter	38,42	2,60	**24,294**
„ Stengel	41,08	2,43	**23,052**
„ Wurzeln	39,38	2,54	**22,061**

[1]) Nach dem S. 104 angegebenen Verfahren angestellt

	Kohlenstoff-gehalt. %	Gewichtsmenge, enthaltend, 1 gr Kohlenstoff. gr	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft (Mittel aus je 6 Beobachtungen).
Ackerbohne, Blätter	38,52	2,59	**24,734**
„ Stengel	43,27	2,31	**19,809**
„ Wurzeln	41,99	2,38	**19,293**
Winterroggen, Blätter	42,10	2,37	**18,211**
„ Halme	43,05	2,32	**17,019.**

In den eigens zum Zweck des Nachweises des geschilderten Verhaltens der stickstoffhaltigen Stoffe vom Verfasser angestellten Versuchen[1]) wurden verschiedene Strohsorten im gepulverten Zustande theils in Wasser, theils in einer ca. 1 % Eiweisslösung, aus Hühnereiweiss hergestellt, während 48 Stunden bei niedriger Temperatur geweicht und dann, nach Abscheidung der überschüssigen Flüssigkeit, auf Filtrirpapier bei Zimmertemperatur getrocknet. Von den auf diese Weise präparirten Materialien wurden je 4 gr mit 400 gr Quarzsand vermengt und die Gemische mit je 40 gr Wasser angefeuchtet. Die auf diese Weise hergestellte Masse wurde alsdann in U-förmige Röhren verbracht. Die im Mittel von je 6 resp. 8 Einzelversuchen beobachtete Kohlensäureproduction stellte sich wie folgt:

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.
Roggenstroh, in Wasser geweicht . . .	**10,611**
„ „ Eiweisslösung „ . . .	**13,812**
Maisstroh, „ Wasser „ . . .	**19,492**
„ „ Eiweisslösung „ . . .	**22,115**
Roggenstroh, „ Wasser „ . . .	**6,946**
„ „ Eiweisslösung „ . . .	**11,559.**

Man bemerkt deutlich, dass die Verwesung der organischen Stoffe durch einen höheren Eiweissgehalt gefördert wird. Diese Beziehung der Verwesungsfähigkeit der Materialien zu deren Stickstoffgehalt erklärt sich aus dem Umstand, dass letzterer bei der Ernährung der betheiligten Mikroorganismen eine grosse Rolle spielt. Nichtsdestoweniger würde es unstatthaft sein, aus solchen wie den vorstehend mitgetheilten Thatsachen die Schlussfolgerung abzuleiten, dass der Stickstoffgehalt der organischen Stoffe für deren Verwesungsfähigkeit ganz allgemein maassgebend sei. Eine derartige Anschauung würde u. A. im Widerspruch stehen zu der vielfach gemachten Beobachtung, dass besonders stickstoffreiche Materialien, wie hornige Gebilde, Torf u. s. w. nur äusserst langsam der Verwesung unterliegen.

Bei näherem Eingehen auf die Ursachen der Erscheinungen dieser Art gelangt man zu der Ueberzeugung, dass, abgesehen von der mechanischen Beschaffenheit der betreffenden Substanzen, ausser der Menge der stickstoffhaltigen Bestandtheile auch die Form, in welcher sie vorkommen, sowie auch anderweitige Verbindungen, die in den sich zersetzenden Materialien enthalten sind, für die Verwesungsfähigkeit der Masse belangreich werden.

[1]) Journ. f. Landw. XXIV. 1886. S. 287.

Die Coincidenz zwischen Stickstoffgehalt und Zersetzungsfähigkeit der Materialien macht sich nur dann bemerklich, wenn die stickstoffhaltigen Bestandtheile an sich leicht dem Zerfall unterliegen, wie dies z. B. von den meisten Eiweissstoffen und einigen leicht zersetzbaren niedrigen Stickstoffverbindungen (des Harns und der Verdauungssäfte) zutreffen dürfte. Dies gilt nicht allein für die Oxydation des Kohlenstoffs, sondern auch für die Ammoniak- und Nitratbildung. Ohne Zweifel enthalten aber auch die organischen Substanzen mehr oder weniger schwer zersetzbare Stickstoffverbindungen von einer grösstentheils noch unbekannten Constitution. Sind diese in grösserer Menge in dem Material enthalten, so verwest dasselbe trotz höheren Stickstoffgehaltes langsamer als ein solches, welches leichter zersetzbare stickstoffreiche Bestandtheile in geringerer Menge besitzt.

Hinsichtlich der Umwandlung der stickstoffhaltigen Bestandtheile der organischen Substanzen in assimilirbare Nährstoffe weisen die oben angezogenen Versuche von *Tuxen* und *Morgen* bereits grosse Unterschiede auf, woraus geschlossen werden darf, dass die in Rede stehenden Verbindungen in Folge einer verschiedenen chemischen Zusammensetzung resp. Constitution in verschiedener Weise für die Zersetzung prädisponirt sind. In den Versuchen von *Tuxen* zeigte sich z. B. der Stickstoff des Knochenmehls und des Fischguano viel leichter löslich als der des Pferdedüngers, und *Morgen* fand, dass die stickstoffhaltige Substanz des Hornmehls leichter löslich war als diejenige des Ledermehls. Als ein weiterer Beleg kann die Beobachtung von *P. P. Deherain*[1]) dienen, der zu Folge die stickstoffhaltigen Bestandtheile des Stalldüngers leichter nitrificirten, als jene der Mais-Oelkuchen und der Ackererde, in welcher die Umwandlung des Stickstoffs in Salpetersäure am langsamsten erfolgte.

In Ansehung dieser Verhältnisse haben *A. Stutzer* und *W. Klingenberg*[2]) zur Bestimmung der Wirksamkeit des Stickstoffs in organischer Verbindung vorgeschlagen, die stickstoffhaltigen organischen Düngemittel (Knochenmehl, Blutmehl, Hornmehl, Ledermehl, Fischguano, Excremente, Fäcalien, Gründünger, Torf u. s. w.) mit Verdauungsflüssigkeit, salzsaurer Pepsinlösung, zu behandeln. Es wurde das eiweissverdauende Material gewählt, weil die Stickstoffverbindungen der Knochen, des Blutes u. s. w. im Wesentlichen aus dem Eiweiss nahe stehenden Stoffen zusammengesetzt sind und weil frühere Versuche ergeben hatten, dass sich mit diesem Ferment die Versuche besser ausführen lassen als mit dem gleichfalls eiweissverdauenden Ferment der Bauchspeicheldrüse. Es kann natürlich nicht behauptet werden, dass die auf diese Weise erhaltenen Resultate auf den Vorgang der in der Erde stattfindenden Zersetzung stickstoffhaltiger Stoffe direct zu übertragen seien, und dass die Umwandlung derselben in gleicher Weise verläuft, aber die Vorgänge sind sich doch ähnlich, und deshalb kann das vorgeschlagene Verfahren wenigstens annähernd das Werthverhältniss der verschiedenen Formen von Stickstoff in organischer Verbindung feststellen.

Nach den angezogenen Versuchen scheinen, in gleicher Weise wie bei den Futtermitteln, auch in den Dungstoffen zwei scharf von einander zu trennende Verbindungsformen des Stickstoffs vorzukommen, ein löslicher und ein in Pepsinflüssigkeit unlöslicher Theil. Die Natur dieses letzteren ist noch festzustellen, doch nehmen

[1]) Annales agronomiques. T. XIII. Nr. 6. 1887. p. 241—261.

[2]) Journal für Landwirthschaft. XXX. Jahrgang. 1882. S. 363—270.

genannte Forscher an, dass derselbe dem Nuclein seinen Ursprung verdankt. Das äusserst widerstandsfähige Nuclein ist in fast allen thierischen und vegetabilischen Stoffen in mehr oder weniger verändertem Zustande anzutreffen, und dürfte nach bezeichneten Gewährsmännern selbst der Stickstoff des Torfs und ein grosser Theil des im Boden enthaltenen Stickstoffs in letzter Instanz auf das Nuclein ehemaliger Pflanzen zurückzuführen sein.

Die von genannten Forschern ermittelten durchschnittlichen Werthe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Düngemittel:	Gesammt-Stickstoff.	Von 100 Thl. Stickstoff durch Pepsinlösung	
		löslich.	unlöslich.
Blutmehl	13,54	89,75	10,25
Ledermehl	6,91	39,19	60,81
Hornmehl, geröstet	13,70	40,73	59,27
„ , roh, geraspelt	7,06	23,43	76,57
Liernur-Poudrette, mit Borax behandelt	6,77	80,23	19,77
„ „ ohne „	6,77	83,36	16,64
Metzer Poudrette	1,58	22,92	77,08
Wollabfälle	10,55	2,72	97,28
„ , mit Schwefelsäure aufgeschlossen	12,37	85,43	14,66
Rohes Knochenmehl	4,02	95,45	4,55
„ „	3,94	97,95	2,05
Gedämpftes Knochenmehl	4,31	92,74	7,26
„ „	2,43	88,35	11,65
Peruguano, roh, mit Borax behandelt	11,08	94,53	5,47

Die durch vorstehende Zahlen ausgedrückten grossen Verschiedenheiten bezüglich der Löslichkeit des Stickstoffs in den verschiedenen Materialien entsprechen im Allgemeinen den praktischen Erfahrungen über die Wirksamkeit derselben. Ebenso stehen dieselben, mit wenigen Ausnahmen auch in Uebereinstimmung mit den vom Verfasser bezüglich der Verwesungsfähigkeit ermittelten Werthen[1]).

Von den Nebenbestandtheilen der organischen Stoffe, welche für die Zersetzungsvorgänge etwa von Einfluss sich erweisen könnten, kommen hauptsächlich die Harze, Wachsarten und Fette, sowie die Gerbsäure in Betracht. Das Vorkommen von Harzen ist besonders bei dem Torfe von Wichtigkeit, dessen ausserordentlich geringe Verwesungsfähigkeit nicht allein in der Schwerlöslichkeit seiner stickstoffhaltigen Bestandtheile, sondern auch in seinem Gehalt an harzigen Stoffen begründet ist. Die durch Aether-Alkohol ausziehbaren Bestandtheile sind häufig in nicht unbeträchtlichen und zwar in um so grösseren Mengen im Torf enthalten, je älter derselbe ist. Indem diese harzartigen Bestandtheile die organische Substanz quasi einhüllen, hindern sie den directen Einfluss der Verwesungsfactoren, besonders die Durchdringung mit Wasser und Luft, und drücken dadurch die Zersetzung wesentlich herunter. Dies lehrt ein diesbezüglicher Versuch, welchen Verfasser[2]) mit Torf aus dem Schleiss-

[1]) In den gedämpften Knochenmehlen ist relativ weniger Stickstoff gelöst worden als in den rohen, weil durch das Dämpfen den Knochen leicht lösliche Stickstoffverbindungen entzogen werden. Dieser Nachtheil des Dämpfens wird indessen durch andere Vortheile (bessere Pulverisirbarkeit und damit schnellere Wirkung) aufgehoben.

[2]) Journ. f. Landw. 1886. S. 289.

heimer Moor (bei München) ausführte. Die Harzmenge betrug 5,12 %. Es wurden entwickelt:

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Luft	
	Torf	
	unverändert	mit heissem Aether-Alkohol ausgezogen
Mittel aus je 4 Versuchen	**25,995**	**50,651.**

Es geht hieraus hervor, dass die Erdharze im Torf der Zersetzung desselben hinderlich sind.

Für die Schwerzersetzbarkeit gewisser, als Düngemittel verwendeter Substanzen organischen Ursprungs hat man vielfach das in denselben enthaltene Fett in Anspruch genommen, ohne indessen für diese Annahme einen ziffernmässigen Beleg anzuführen. Zur Prüfung dieser Verhältnisse hat Verfasser[1]) verschiedene fettreiche Düngemittel, nämlich Fray-Bentos-Guano (aus Fleischabfällen hergestellt), Fleisch- und Knochenmehl, gepulverte Fichten- und Kiefernadeln, sowie Rapskörner theils durch Aetherextraction ihres Fettes beraubt, theils in ihrem ursprünglichen Zustande belassen. In den Versuchen I und II wurden die Beobachtungen begonnen, nachdem der Aether von der ausgebreiteten Substanz vollständig abgedunstet war, wozu etwa 4—5 Tage erforderlich waren. Nachdem sich aber, entgegen den bestehenden Anschauungen, ergeben hatte, dass die entfetteten Substanzen sich etwas langsamer zersetzten als die noch mit Fett imprägnirten und dieses Verhalten möglicher Weise auf antiseptische Wirkungen des Aethers hätte zurückgeführt werden dürfen, wurden die entfetteten Versuchsmaterialien in Versuch III und IV zwei Monate lang im ausgebreiteten Zustande der Luft ausgesetzt, ehe sie in Verwendung kamen. Um ganz sicher zu gehen, wurden die unveränderten Proben denselben Bedingungen ausgesetzt.

In jedem Versuch betrug die Menge der Substanz 4 gr. Das aus denselben mit 400 gr Quarzsand hergestellte Gemisch wurde mit 40 gr Wasser angefeuchtet und in U-förmige Röhren gebracht, welche, wie mehrfach angegeben, behandelt wurden. Die Ergebnisse der Kohlensäurebestimmungen lassen sich aus folgender Uebersicht entnehmen:

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft:					
I.	Knochenmehl		Fray Bentos Guano		Fleischmehl	
	entfettet	nicht entf.	entfettet	nicht entf.	entfettet	nicht entf.
Mittel aus je 6 Versuchen	20,037	21,279	28,001	27,184	24,577	25,967
II.	Rapsmehl		Fichtennadeln		Kiefernadeln	
Mittel aus je 6 Versuchen	15,732	18,989	7,381	10,058	9,899	12,086
III.	Rapsmehl		Fichtennadeln		Kiefernadeln	
Mittel aus je 9 Versuchen	17,312	17,719	7,852	8,277	11,339	10,738
IV.	Knochenmehl		Fray Bentos Guano		Fleischmehl	
Mittel aus je 8 Versuchen	19,476	22,165	20,941	24,670	21,999	22,799.

Diesen Zahlen ist zu entnehmen, dass die Entfettung der organischen Substanzen keinen fördernden, sondern zum Theil sogar einen verzögernden Einfluss auf deren Verwesung ausgeübt hatte. Wenngleich die

[1]) Journ. f. Landw. 1886. S. 292.

in letzterer Beziehung hervortretenden Unterschiede nicht sehr gross sind, so sind sie doch deutlich wahrnehmbar. Ob durch die Aetherextraction chemische Veränderungen in den Substanzen hervorgerufen werden, welche die Zersetzungsfähigkeit derselben herabdrücken, oder ob diese Wirkung den antiseptischen Eigenschaften des Aethers zuzuschreiben sei, sind Fragen, welche sich nur sehr schwer experimentell beantworten lassen. Hält man sich an die ermittelten Thatsachen, so würde aus diesen gefolgert werden können, dass die neuerdings vielfach vorgenommene Entfettung der fettreichen organischen Düngemittel mittelst Schwefelkohlenstoff oder Benzin der Zersetzung der betreffenden Substanzen nicht förderlich ist. In Ansehung ferner, dass die in Anwendung gebrachten Materialien im unveränderten Zustande eine sehr lebhafte Kohlensäureentwickelung gezeigt hatten, dürfte weiters die Schlussfolgerung gerechtfertigt sein, dass das Fett für die Zersetzung der mit demselben imprägnirten Stoffe mehr oder weniger belanglos ist.

Für manche Materialien, wie z. B. Torf, Leder, Baumblätter u. s. w., scheint deren Gehalt an Gerbstoffen für die Verwesung belangreich zu sein. An sich sind zwar letztere ausserordentlich veränderlich und zur Zersetzung geneigt, aber mit den Eiweissstoffen erzeugen sie Verbindungen, welche sich im hohen Grade resistent verhalten. Um dies nachzuweisen, wurden vom Verfasser[1]) gepulvertes Winterroggen- und Maisstroh, sowie fein gemahlene Blätter der Sojabohne theils in Wasser, theils in Tanninlösungen von verschiedener Concentration während 48 Stunden geweicht, bei Zimmertemperatur getrocknet und weiterhin, mit Sand gemischt und mit gleichen Wassermengen angefeuchtet, in U-förmigen Röhren bei einer Temperatur von 30 ° C. der Verwesung ausgesetzt. Im Mittel von je 6 Einzelversuchen wurden folgende Mengen von Kohlensäure entwickelt:

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft	
	in Wasser	in 1 % Tanninlösung geweicht
Winterroggenstroh .	10,611	6,457
Maisstroh	19,492	13,435
Sojabohnenblätter . .	28,115	12,596.

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft				
	in Wasser	in Tanninlösung geweicht von			
	geweicht	1 %	2 %	4 %	8 %
Sojabohnenblätter	21,565	19,907	19,008	18,052	16,029.

Abgesehen von Details lassen diese Zahlen deutlich erkennen, dass die Zersetzung der organischen Stoffe bei Gegenwart von Gerbsäure nicht unbeträchtlich vermindert wird.

Inwieweit die Verwesung der organischen Stoffe durch die in ihnen enthaltenen Mineralstoffe influirt werde, suchte Verfasser[2]) zunächst dadurch zu eruiren, dass er von zwei Proben Torf und humoser Ackererde von 75 resp. 300 gr Gewicht, die eine mit verdünnter Salzsäure, die andere mit destillirtem Wasser kochte, beide trocknete, mit je 80 gr Wasser anfeuchtete und die in denselben unter Luftzutritt während 24 Stunden bei 30° C. entwickelten Kohlensäuremengen bestimmte. Diese stellten sich wie folgt:

[1]) Journ. f. Landw. 1886. S. 288.

[2]) Ebenda. 1886. S. 252.

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.			
	Humose Ackererde		Torf	
	mit Salzsäure.	mit Wasser.	mit Salzsäure.	mit Wasser.
Mittel von je 5 Beobachtungen	**11,342**	**50,658**	**8,037**	**35,904.**

Es zeigte sich mithin, dass die durch Salzsäure der lösbaren Mineralstoffe beraubten Proben eine ungleich geringere Menge von Kohlensäure entwickelten als die unverändert gebliebenen.

Zur weiteren Klarstellung dieser Verhältnisse wurden zwei weitere Versuche ausgeführt, in welchen den künstlich hergestellten Bodengemischen Nährstofflösungen zugefügt wurden, welche im Liter 0,4 gr weinsaures Ammoniak, 0,2 gr Kaliumphosphat (KH_2PO_4), 0,2 gr Chlorkalium, 0,1 gr Magnesiumsulfat und 0,1 gr Calciumnitrat enthielten. Der Gehalt dieser Lösung betrug demnach 0,1 %. Ausserdem wurde eine Lösung von doppelter Concentration (0,2 %) verwendet.

In dem einen Versuch (I) bestand das Bodengemisch aus 400 gr Quarzsand, 4 gr Winterroggenstroh (in Pulverform), angefeuchtet mit 40 ccm der betreffenden Lösungen, resp. Wasser; in dem anderen Versuch war das Bodengemisch aus 400 gr Quarzsand, 4 gr Torfpulver (Oldenburger Streutorf) und 60 ccm Flüssigkeit zusammengesetzt. Ueber die bei 30° C. entwickelten Kohlensäuremengen geben die folgenden Tabellen näheren Aufschluss:

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.		
	Mit Wasser angefeuchtet.	Mit 0,1% Nährstofflösung angefeuchtet.	Mit 0,2% Nährstofflösung angefeuchtet.
Versuch I	**16,672**	**20,256**	**20,400**
„ II	**6,833**	**7,872**	**8,612.**

Beide Versuche stimmen darin überein, dass die Oxydation des Kohlenstoffs der organischen Substanzen durch Zuführung einer schwachen, alle Nährstoffe enthaltenden Lösung nicht unwesentlich gefördert wird, wahrscheinlich weil dadurch im Verein mit entsprechenden zum Aufbau des Körpers geeigneten Verbindungen (weinsaures Ammoniak, organische stickstoffhaltige Stoffe) eine bessere Ernährung und intensivere Vermehrung der bei dem Zerfall betheiligten Mikroorganismen bewirkt wird.

e) Verwesungsfähigkeit der als Düngemittel verwendeten organischen Substanzen.

Die in der Landwirthschaft zu Düngungszwecken verwendeten Pflanzen- und Thierreste unterliegen der Verwesung in einem ausserordentlich verschiedenen Grade und zwar entsprechend ihrer physikalischen und chemischen Beschaffenheit, zuweilen auch aus Ursachen, welche uns noch unbekannt sind. Um einen ungefähren Anhalt in dieser Richtung zu gewinnen, wurden vom Verfasser[1]) gepulverte Materialien verschiedener Art in Mengen, welche 1 gr Kohlenstoff entsprechen, mit 400 gr Quarzsand und 50 ccm Wasser gemischt und der Verwesung in U-förmigen Röhren ausgesetzt, worauf an je 6 Tagen die innerhalb eines Zeitraumes von 24 Stunden entwickelten Kohlensäuremengen nach der *von Pettenkofer*'schen Methode ermittelt wurden. Die Mittel, welche zur Beurtheilung der relativen Verwesungsfähigkeit der betreffenden Substanzen dienen können, zeigten die aus nachstehender Tabelle ersichtlichen Unterschiede.

[1]) Journ. f. Landw. 1886. S. 274—282.



Material.	Kohlenstoff-gehalt. %	Gewichts-menge, 1 gr Kohlenstoff enthaltend. gr	Vol. Kohlen-säure in 1000 Vol. Bodenluft.
Knochenmehl, gedämpft	9,24	10,82	31,769
Fischguano	27,52	3,63	28,453
Fleischmehl	37,59	2,66	27,528
Gänsekoth	43,43	2,30	27,949
Taubenkoth	29,49	3,39	26,716
Hühnerkoth	33,16	3,01	25,379
Peruguano	16,67	5,99	24,855
Sojabohnenstroh	39,75	2,52	23,673
Erbsenstroh	40,75	2,45	22,156
Ackerbohnenstroh	39,84	2,51	22,076
Sommergerstestroh	41,43	2,41	19,562
Maisstroh	40,74	2,45	18,837
Sommerweizenstroh	42,54	2,35	18,560
Sommerroggenstroh	41,95	2,38	18,189
Sommerhaferstroh	39,97	2,50	17,388
Kartoffelstroh	34,73	2,88	17,956
Blutmehl	45,95	2,18	17,122
Winterroggenstroh	43,36	2,30	15,936
Schweinedünger, frisch	30,09	3,32	14,901
Pferdedünger, mittel zersetzt	39,73	2,51	12,166
Rindviehdünger, frisch	24,16	4,14	13,431
Schafdünger, frisch	35,94	2,78	10,390
Ledermehl, rohes	48,82	2,05	9,507
Kiefernadeln	48,22	2,08	9,936
Eichenblätter	43,20	2,31	9,421
Buchenblätter	49,22	2,03	8,424
Hornmehl, rohes	45,40	2,20	7,170
Sägemehl (Fichtenholz)	44,12	2,27	5,284
Torf (Cunrau), obere Schicht	40,03	2,49	3,229
Torf (Donaumoor), „ „	40,12	2,49	2,934

Ordnet man die Materialien in Gruppen, so lässt sich aus diesen Zahlen entnehmen, dass die organischen Bestandtheile des Knochenmehls, des Fischguano, des Fleischmehls, der Excremente des Hausgeflügels sich am leichtesten zersetzen, dann folgen in absteigender Reihe die zur Einstreu bei der Stallmistbereitung verwendeten Stroharten, hierauf die Stallmistsorten selbst, schwieriger verwesen Ledermehl, Hornmehl und die Waldstreusorten, und am langsamsten unterliegt das Sägemehl, dann der Torf dem Zerfall.

Die charakterisirten Unterschiede können nur einen ungefähren Anhalt zur Beurtheilung des Verhaltens der verwendeten Substanzen gewähren, einerseits weil diese nicht in ihrer natürlichen Beschaffenheit, sondern in Pulverform benutzt wurden, andererseits insofern, als die grössere oder leichtere Zersetzbarkeit der Excremente und Mistsorten sowohl von der Ernährung, sowie von dem Zersetzungsgrad der Masse beherrscht wird. In letzterer Beziehung mag hervorgehoben werden, dass die als „frisch" bezeichneten Stallmistsorten wahrscheinlich bereits in Zersetzung übergegangen waren, was sich nicht sicher feststellen liess, weil dieselben von auswärts bezogen werden mussten.

Mit Zuhilfenahme der ermittelten Daten und anderweitiger Beobachtungen, sowie der in der Praxis gemachten Erfahrungen lässt sich im Speciellen über die Verwesungsfähigkeit der als Dünger verwendeten organischen Substanzen etwa Folgendes aussagen.

Im Allgemeinen kann auf Grund zahlreicher Beobachtungen der Satz aufgestellt werden, dass alle thierischen Reste, abgesehen von einigen Ausnahmen, leichter verwesen als die pflanzlichen. Dies gilt sowohl von der Oxydation des Kohlenstoffs, als auch von der Ammoniakbildung und Nitrification. Belege hierfür finden sich in den mitgetheilten Versuchsergebnissen, in welchen die organischen Stoffe des Knochenmehls, des Fleischmehls, des Fischguano, der Excremente des Hausgeflügels, des Peruguano sich ungleich schneller zersetzten, als die der übrigen in Anwendung gebrachten Materialien pflanzlichen Ursprungs.

Im Uebrigen bestehen aber in der Verwesungsfähigkeit der animalischen Substanzen grosse Unterschiede, welche hier in aller Kürze beleuchtet werden sollen.

Am schnellsten unterliegen der Zersetzung die stickstoffhaltigen Stoffwechselproducte in den thierischen Ausscheidungen (Harnstoff, Hippursäure, Harnsäure im Harn, Harnsäure in den Vogelexcrementen, stickstoffhaltige Bestandtheile der mit den Excrementen ausgeschiedenen Verdauungssäfte), schwieriger zersetzbar sind die aus dem unverdauten Theil der Nahrung herstammenden Bestandtheile der Excremente. Dieselben weisen je nach ihrem Stickstoffgehalt und ihrer physikalischen Beschaffenheit grosse Unterschiede auf. Die menschlichen Excremente, Tauben- und Hühnerkoth unterliegen in der Regel weit schneller dem Zerfall als Enten- und Gänsekoth, welche ärmer an Stickstoff und reicher an Wasser sind. Die Excremente der Pferde und Schafe verwesen wegen ihres vergleichsweise höheren Gehaltes an stickstoffhaltigen Stoffen, ihrer Armuth an Wasser, ihrer lockereren Beschaffenheit und der leichten Zugänglichkeit für Luft ungleich schneller als jene des Rindes und Schweines, in welchen die Zersetzung in Folge entgegengesetzter Eigenschaften ungleich langsamer von Statten geht. Von ähnlicher Verwesungsfähigkeit wie etwa die menschlichen Excremente sind die Fleischabfälle (Fleisch, Eingeweide der Hausthiere) und die Körper der Raupen, Schnecken, Engerlinge, während die stickstoffreichen hornigen Gebilde, wie Hörner, Klauen, Haare (Wollabfälle), die chitinhaltigen Körpertheile der Käfer, sowie die Lederabfälle zu denjenigen Substanzen gehören, welche sich am schwierigsten, auch im Vergleich zu den Pflanzenresten, zersetzen.

Bezüglich der Materialien pflanzlichen Ursprungs lässt sich ganz allgemein die Beobachtung machen, dass dieselben im grünen Zustande der Verwesung leichter anheimfallen als nach der Austrocknung und Wiederanfeuchtung, und dass im Uebrigen deren Zersetzbarkeit in einem proportionalen Verhältniss zu ihrem Gehalt an stickstoffhaltigen Bestandtheilen besteht. Eine Ausnahme hiervon machen jene humosen Stoffe, welche das Product eines Fäulnissprocesses sind, welche sich unter Luftabschluss gebildet haben, insofern dieselben, den Verwesungsfactoren ausgesetzt, trotz ihres Stickstoffreichthums sich nur äusserst langsam entmischen. Dies gilt besonders von dem Torf, der unter allen hier in Betracht kommenden organischen Substanzen am schwierigsten der Zersetzung unterliegt.

Die Ursachen hiervon sind zum Theil noch unbekannt und wahrscheinlich in gewissen Eigenschaften des Torfes zu suchen, welche dem Wachsthum und der Vermehrung der Mikroorganismen hinderlich sind; dieselben sind vielleicht auch darin begründet, dass die Erdharze und die lederartigen Verbindungen, welche in dem Torf vorkommen, einerseits die Einwirkung der Zersetzungsfactoren vermindern,

andererseits die Entmischung der Masse hintanhalten. Dass der Stickstoffgehalt der Substanz nicht immer für die Intensität des Zerfalls maassgebend ist, ergiebt sich übrigens auch aus dem Verhalten der Waldstreu, welche, wie die oben mitgetheilten Zahlen darthun, sich schwieriger zersetzt als die stickstoffärmere Strohstreu. Zur Erklärung dieser Erscheinung wird der Umstand heranzuziehen sein, dass der Harzgehalt oder der Gehalt an gerbstoffhaltigen Verbindungen in den Nadeln resp. in den Blättern der Umwandlung der Bestandtheile hinderlich ist. Auch mag die unter natürlichen Verhältnissen beobachtete langsame Zersetzung der Waldstreu auf der mehr oder weniger dichten Beschaffenheit der Masse beruhen, welche den Einfluss der Verwesungsfactoren, besonders jenen der Luft herabsetzt.

Durch Mischung von schwer mit leicht verwesbaren Stoffen hat man es in der Hand, eine Masse von mittlerer Zersetzungsfähigkeit herzustellen, ein Verfahren, welches bei der Bereitung des Stallmistes die ausgedehnteste Anwendung in der Praxis findet. Indem die Streumaterialien (Stroh) mit den thierischen Ausscheidungen gemengt werden, wird dadurch die Zersetzbarkeit der ersteren erhöht und jene der letzteren vermindert. Dasselbe ist der Fall, wenn man den „hitzigen“ Pferdedünger mit dem „kalten“ Rindviehdünger vereinigt.

Im Anschluss an diese Darlegungen würde schliesslich noch das Verhalten der stickstoffhaltigen gegenüber den stickstofffreien Bestandtheilen der organischen Substanzen bei der Verwesung in Betracht zu ziehen sein. Abgesehen von Nebenumständen ergiebt sich nämlich aus zahlreichen diesbezüglichen Beobachtungen, dass bei der Entmischung der betreffenden Materialien die stickstofffreien Stoffe relativ in stärkerem Grade zersetzt werden als die stickstoffhaltigen und dass demgemäss die in vorgeschrittenen Stadien des Zerfalls befindliche Substanz procentisch an Stickstoff reicher ist als die Frischsubstanz. Dies gilt besonders von den vegetabilischen Stoffen, während die animalischen im Allgemeinen in stärkerem Grade der Umwandlung unterliegen. Auch ist die betreffende Erscheinung qualitativ verschieden, je nach der Einwirkung der äusseren Verwesungsbedingungen.

Zur Illustration des geschilderten Verhaltens der vegetabilischen Substanzen kann ein Versuch von *J. Nessler*[1]) dienen, in welchem der Stickstoffgehalt der Blätter verschiedener Waldbäume im Spätherbst nach dem Abfall, und im Frühjahr (Mai), nachdem sie den ganzen Winter über im Freien auf dem Boden gelegen hatten, untersucht wurde. Der Stickstoffgehalt in 100 Theilen der organischen Substanz dieser Blätter betrug:

	Eichenblätter	Buchenblätter
nicht zersetzt	1,70	1,78
zersetzt	2,01	2,01.

Die Stickstoffanreicherung in den verwesenden organischen Substanzen, wie solche sich in diesen und in anderweitig gefundenen Zahlen kund giebt, ist indessen nur eine relative. Sie erklärt sich aus dem Umstande, dass bei der Entmischung Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in verhältnissmässig grösseren Mengen entweichen als Stickstoff. Absolut nimmt auch letzterer durch Umbildung in Ammoniak und Salpetersäure ab, aber es verbleibt schliesslich, wie die oben mitgetheilten Zahlen aus den Versuchen von *Tuxen* (S. 106) dargethan haben, ein Rest, welcher

[1]) Bericht über Arbeiten der grossh. Versuchs-Station Karlsruhe. 1870. S. 90.

sich je nach äusseren Umständen mehr oder weniger widerstandsfähig verhält. In den bezeichneten Versuchen waren nach 16 Monaten von den stickstoffhaltigen Bestandtheilen des Knochenmehls, Fischguano und des Pferdedüngers 60—70% umgewandelt. Ob der Rest die schwerer angreifbaren stickstoffhaltigen Bestandtheile der ursprünglichen Substanz oder Stickstoffverbindungen darstellt, welche sich ganz allmählich in Ammoniak verwandeln, ist eine grösstentheils noch nicht gelöste Frage. Ein Theil dieser Stoffe wird, wie nach verschiedenen Beobachtungen[1]) angenommen werden darf, in Form von amidartigen Substanzen vorhanden, ein anderer wahrscheinlich in den Körper von Thieren und Mikroorganismen übergegangen sein. Letztere von *P. Kostytscheff*[2]) vertretene Anschauung hat Vieles für sich, insofern es keinem Zweifel unterliegen kann, dass die von jenen Lebewesen als Nährmittel aufgenommenen Bestandtheile zunächst der Zersetzung entzogen sind und zwar in einem der Vermehrung der betreffenden Organismen entsprechenden Grade. Dazu kommt aber noch, dass auch die Zersetzungsproducte selbst, wie z. B. die Ammoniak- und Amidverbindungen den Bacterien und Pilzen zur Nahrung dienen können. Es ist sonach die Möglichkeit gegeben, dass neben der Zerstörung der Eiweissstoffe eine Wiederentstehung derselben auf synthetischem Wege erfolgt. Die Menge der in dieser Weise festgelegten albuminoiden Stoffe ist je nach Umständen eine sehr verschiedene und wesentlich mit abhängig von den Lebensbedingungen der Thiere und niederen Organismen, doch dürfte dieselbe in der Mehrzahl der Fälle nur einen relativ geringen Theil der ursprünglichen Stoffe ausmachen, wie aus dem Umstand zu schliessen ist, dass, wie nachgewiesen, der grössere Theil der stickstoffhaltigen Bestandtheile der unter dem Zutritt der Luft sich zersetzenden organischen Substanzen in assimilirbare Pflanzennahrung umgewandelt wird.

B. Die äusseren Bedingungen der Verwesung.

Aus den oben näher geschilderten Beziehungen zwischen den äusseren Lebensbedingungen und den Functionen der niederen Organismen wird a priori geschlossen werden müssen, dass die von diesen beherrschten Zersetzungsprocesse von einer Reihe von Factoren beeinflusst werden. In der That zeigen die hierüber vorliegenden Untersuchungen, dass die Luftzufuhr, die Feuchtigkeit, die Wärme und gewisse chemische Verbindungen von grösstem Einfluss auf die Intensität des Zerfalls der organischen Substanzen sind.

a. Die Luftzufuhr

ist natürlich an erster Stelle bei einem Process erforderlich, der wie der in Rede stehende als ein Oxydationsvorgang vornehmlich charakterisirt ist. Inwieweit der Zutritt des Sauerstoffs sich hierbei als nothwendig erweist, wurde bezüglich der Kohlensäureentwickelung vom Verfasser[3]) in folgender Weise nachzuweisen versucht. Ein aus 170 gr Quarzsand und 20 gr Torfpulver bestehendes, mit 30 gr Wasser angefeuchtetes Gemisch wurde in U-förmige Röhren verbracht, durch welche Luft von verschiedenem Sauerstoffgehalt, sowie reiner Stickstoff hindurchgeleitet wurde.

[1]) *A. Baumann.* Ueber die Bestimmung des im Boden enthaltenen Ammoniakstickstoffs und über die Menge des assimilirbaren Stickstoffes im unbearbeiteten Boden. Habilitationsschrift. 1886.

[2]) Annales agronomiques. T. XVII. 1891. p. 17—38.

[3]) Journ. f. Landw. 1886. S. 232.



Die während eines Zeitraumes von 24 Stunden entwickelte Kohlensäuremenge betrug im Mittel von je 7 (I) resp. 6 (II) Versuchen:

I. Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

	Die durchgeleitete Luft enthielt:			
	100 % O	67 % O 33 „ N	33 % O 67 „ N	100 % N
Kohlensäure:	**12,368**	**11,452**	**10,945**	**8,356.**

II.

	Die durchgeleitete Luft enthielt:				
	21 % O 79 „ N	15 % O 85 „ N	8 % O 92 „ N	2 % O 98 „ N	100 % N.
Kohlensäure:	**12,509**	**10,883**	**10,078**	**3,619**	**3,336.**

Hieraus ergiebt sich, dass die Oxydation des Kohlenstoffs mit der Menge des zugeführten Sauerstoffs zunimmt, jedoch nicht dieser proportional, denn von einer gewissen Grenze ab (2—8 % Sauerstoffgehalt der Luft) fand das Ansteigen der Kohlensäuremenge nur in einem mässigen Grade statt, während unter derselben die Kohlensäureproduction beträchtlich vermindert war. Letztere hörte aber selbst dann nicht auf, wenn der Sauerstoff durch ein bei dem Zerfall der organischen Substanz nicht betheiligtes Gas (Stickstoff) ersetzt war. Dieselbe Erscheinung trat auch in anderweitigen Versuchen des Verfassers, sowie in solchen von *J. von Fodor*[1]) hervor. Ob sich die unter derartigen Umständen vorfindende Kohlensäure auf Kosten desoxydirbarer Substanzen (Nitrate, höhere Oxydationsstufen des Eisens und Mangans) entwickelte, oder aus der vor Beginn der Versuche gebildeten und allmählich durch die Gase verdrängten Kohlensäure herstammte, lässt sich schwer ermessen. Sehr wahrscheinlich dürften beide Ursachen das Auftreten von Kohlensäure bei Luftabschluss bedingt haben.

Die bezüglichen Versuche von *Th. Schloesing*[2]) lieferten ein ähnliches Resultat, insofern die Kohlensäureentwickelung gleichen Schritt mit der Sauerstoffzufuhr hielt, aber bei dem Ueberschreiten einer gewissen Grenze sich mehr oder weniger unabhängig von den zugeführten Sauerstoffmengen erwies und selbst dann nicht vollständig aufhörte, wenn der Boden mit einem bei dem Zerfall der organischen Substanz nicht betheiligten Gase (Stickstoff) vollständig erfüllt war. So fand *Schloesing* bei Zufuhr

	von Stickstoff	eines Gemisches von Stickstoff und Sauerstoff.			
Die tägliche Kohlensäuremenge in 1 kg Erde		6 %	11 %	18 %	21 %
	9,3	15,9	16,0	16,6	16,0.

Wie man sieht, wurde auch in diesen Versuchen die Kohlensäureproduction mit der Sauerstoffzufuhr erhöht, aber von einem bestimmten Sauerstoffgehalt der Luft (ca. 6 %) ab war dieselbe bei weiterer Steigerung der Sauerstoffmengen nur unwesentlich gefördert, und zwar in einem weit geringeren Grade als in den Versuchen des Verfassers. Diese Abweichung zwischen den beiderseitigen Beobachtungsergebnissen beruht auf Verschiedenheiten in der Versuchsanordnung. Während nämlich in den Versuchen des Verfassers eine Erneuerung des Luftgemisches nur nach

[1]) Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig. 1882.

[2]) Comptes rendus. T. LXXVII. 1873. p. 203 und 353.

jeder, alle 24 Stunden vorgenommenen Aspiration der Bodenluft erfolgte, fand eine solche in den Versuchen *Schloesing*'s zum Zweck der Erhaltung einer gleichmässigen Beschaffenheit der Bodenluft viel häufiger statt. Insofern sind diese Versuche weniger beweisend, denn es wurde selbst bei Anwendung der sauerstoffärmeren Luftgemische eine so ergiebige, für den Zerfall der organischen Stoffe vollständig ausreichende Sauerstoffmenge zugeführt, dass in der producirten Kohlensäure nothwendigerweise ein Ausgleich eintreten musste.

Die den Einfluss der Luftzufuhr auf die Nitrification betreffenden Untersuchungen von *Th. Schloesing*[1]) führten zu dem Ergebniss, dass dieser Vorgang zwar von der Menge des zugeführten Sauerstoffs abhängig ist, aber selbst bei einer beschränkten Sauerstoffzufuhr noch beträchtlich sein kann. Als nämlich dieser Autor durch fünf in weite Glasröhren gefüllte Proben eines humusreichen Bodens (à 2 kg) Mischungen von Sauerstoff und Stickstoff in wechselnden Verhältnissen hindurchleitete, wurden vom 5. Juli bis 7. November 1872 folgende Salpetermengen gebildet:

Sauerstoffgehalt der Luft:	1,5 %	6 %	11 %	16 %	21 %
Salpetersäure mgr:	45,7	95,7	132,5	246,6[2])	162,6[2]).

Die Menge der gebildeten Salpetersäure nahm sonach mit dem Sauerstoffgehalt des Luftgemisches beträchtlich zu; die Salpeterbildung war aber noch bei geringer Zufuhr des Sauerstoffes nicht unbedeutend, ein Umstand, der sich wahrscheinlich auf die Versuchsanordnung zurückführen lässt. Es wurde nämlich das Luftgemisch, um die in dem Boden eingeschlossene Atmosphäre jederzeit constant zu erhalten, ohne Unterbrechung durch die Röhre geleitet, in Folge dessen selbstredend noch bei geringem Sauerstoffgehalt desselben ziemlich ausgiebige Mengen für die Oxydation disponibel waren.

Dafür, dass bei beschränktem Luftzutritt die Nitrification sistirt wird, sprechen die Ergebnisse eines *v. Fodor*[3]) angestellten Versuchs. Derselbe füllte eine weite Zinkröhre mit 3 kg Boden im feuchten Zustande und verschloss dieselbe mit einem Kautschukstöpsel. Der so hergerichtete Apparat blieb etwa 3 Wochen lang bei Zimmertemperatur stehen und wurde dann mit 100 ccm Wasser ausgewaschen. Hierauf wurde 16 Tage lang Luft durch den Boden aspirirt und ein nochmaliges Auswaschen desselben mit 100 ccm Wasser vorgenommen. Nun wurde die Röhre wieder verschlossen und nach Ablauf von 23 Tagen mit destillirtem Wasser ausgewaschen. Das zum Auswaschen des Bodens verwendete, unten abgetropfte Wasser wurde analysirt. Es ergab sich hierbei, dass in 100 ccm Wasser in mgr enthalten waren:

		Salpetersäure	Salpetrige Säure	Ammoniak
Ohne Luftzutritt	a	0,0	0,12	18,0
	b	0,0	0,12	16,0.
Mit Luftzutritt	a	4,1	0,13	10,0
	b	3,8	0,13	8,0.
Neuerdings ohne Luftzutritt	a	0,065	0,00	verunglückt.
	b	0,090	0,00	

[1]) a. a. O.

[2]) *Schloesing* giebt an, dass möglicherweise eine Verwechslung der beiden Proben stattgefunden haben könnte.

[3]) a. a. O.

Die Zersetzung verläuft also bei Luftzutritt unter Bildung von Salpetersäure und salpetriger Säure; bei Luftabschluss wird hingegen anstatt der Salpetersäure Ammoniak gebildet, Salpetersäure aber keine; vielmehr wird, wenn die Luft mangelt, die bereits gebildete salpetrige Säure, und auch der grösste Theil der Salpetersäure neuerdings reducirt. Hiermit stehen die Beobachtungen von *Boussingault*[1]) und *Millon*[2]) in Uebereinstimmung, denen zu Folge ein durchnässter, wenig luftführender Boden nicht nitrificationsfähig ist.

Fasst man die vorstehend aufgeführten Resultate zusammen, so lässt sich folgern,

1) dass die Intensität der Verwesungsvorgänge (Oxydation des Kohlenstoffs und Stickstoffs) im Allgemeinen mit der Menge des zugeführten Sauerstoffs zunimmt, jedoch nicht gleichmässig proportional der Zufuhr, sondern zuerst progressiv, dann von einer bestimmten Grenze ab, in einem schwächeren Grade;

2) dass die Bildung von Kohlensäure auch bei Abschluss des Sauerstoffs stattfinden kann, allerdings in einem beschränkten Umfange;

3) dass bei Abschluss der Luft nicht allein keine Nitrification stattfindet, sondern auch die im Boden vorhandenen Nitrate und Nitrite reducirt werden.

Es dürfte zweckmässig sein, im Anschluss an die vorstehenden Versuchsergebnisse der Frage näher zu treten, ob die Wirkung des activen Sauerstoffs, des Ozons, auf die Verwesungsprocesse die gleiche sei, wie des gewöhnlichen. Um dies zu eruiren, wurde vom Verfasser[3]) durch humosen Kalksandboden (je 300 gr), welcher mit Wasser (80 gr) angefeuchtet worden war, theils Luft und reiner Sauerstoff, theils ozonisirte Luft geleitet. Letztere wurde in der Weise dargestellt, dass man Luft durch eine mit Terpentinöl (a) gefüllte Flasche oder durch ein Gefäss leitete, auf dessen Boden sich eine Lösung von übermangansaurem Kali, in welche Schwefelsäure eingeführt wurde, befand (b). Es stellte sich nun im Mittel von je 7 Versuchen die Kohlensäureproduction wie folgt:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

	Sauerstoff.	Durchgeleitet: Ozonhaltige Luft. a.	b.	Atm. Luft.
Kohlensäure:	**86,849**	**73,216**	**68,497**	**79,212.**

In einem zweiten Versuch wurde die ozonreiche Luft dadurch gewonnen, dass man die Aspirationsluft durch Flaschen leitete, auf deren Boden sich Phosphorstücke halb bedeckt mit Wasser befanden. Zwischen diesem Gefäss und der mit dem Versuchsmaterial gefüllten U-förmigen Röhre war eine mit Wasser gefüllte Flasche eingeschaltet, um die Luft von dem bei der Darstellung des Ozons entstehenden salpetrigsauren Ammoniak zu reinigen. In einem Falle (A) wurde wieder humoser Kalksandboden (140 gr mit 35 gr Wasser befeuchtet), in dem anderen (B) ein Gemisch aus Quarzsand (170 gr) und Torfpulver (20 gr), mit 30 gr Wasser ange-

[1]) Comptes rendus. T. LXXXVI. p. 22.
[2]) Ebenda. T. LIX. p. 282.
[3]) Journ. f. Landw. 1886. S. 236.

feuchtet, verwendet. Nachfolgende Tabelle lässt die erhaltenen Resultate (Mittel aus je 8 Versuchen) ersehen:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

	A.		B.	
Durchgeleitet:	Ozonhaltige Luft	Gewöhnliche Luft	Ozonhaltige Luft	Gewöhnliche Luft.
Kohlensäure:	**22,228**	**27,976**	**13,687**	**12,947.**

Nachdem bei dem torfhaltigen Boden ein von den bisher ermittelten abweichendes Resultat erzielt worden war, schien es wünschenswerth, die Versuche nochmals zu wiederholen. Die Anordnung war dieselbe wie im vorigen Versuch, nur mit dem Unterschied, dass statt des humosen Kalksandbodens ein aus 170 gr Quarzsand, 2 gr Pferdedüngerpulver und 20 gr Wasser bestehendes Gemisch (A) in Verwendung genommen wurde. Die Analyse der aspirirten Bodenluft wies folgende Unterschiede (im Mittel von je 6 Versuchen) nach:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

	A.		B.	
Durchgeleitet:	Ozonhaltige Luft	Gewöhnliche Luft	Ozonhaltige Luft	Gewöhnliche Luft.
Kohlensäure:	**23,174**	**30,715**	**14,949**	**9,106.**

Im Allgemeinen hatte sonach das Ozon die Verwesung der organischen Substanzen herabgedrückt. Nur bei dem Torf war die entgegengesetzte Erscheinung hervorgetreten.

Es dürfte zur Zeit schwer sein, eine Erklärung für diese Thatsachen ausfindig zu machen. Besonders auffallend ist es, dass das Ozon als kräftiges Oxydationsmittel die Kohlensäureentwickelung bei den leicht zersetzbaren organischen Stoffen vermindert hat. Dies kann nur darauf beruhen, dass die Thätigkeit der bei der Zersetzung betheiligten Mikroorganismen durch das Ozon gehemmt wird. Bei dem Torf liegt die Möglichkeit vor, dass die in demselben neben der Humussubstanz in nicht unbeträchtlichen Mengen vorkommenden kohlenstoffreichen Verbindungen direct von dem Ozon angegriffen werden und dass hierauf die beobachtete Steigerung der Kohlensäureproduction beruht.

In Rücksicht darauf, dass die Verwesung der organischen Stoffe an die Thätigkeit von Organismen geknüpft ist, kann es nicht Wunder nehmen, dass

b. die Wärme

hierbei eine grosse Rolle spielt. So fanden denn auch *J. Möller*[1]) und *J. von Fodor*[2]), dass die Kohlensäureentwickelung bei dem Zerfall organischer Stoffe im Allgemeinen mit der Temperatur zunimmt und dass dieselbe bei 60° C. keineswegs aufhört, obwohl es scheint, dass sie oberhalb dieser Grenze in ihrer Intensität abgeschwächt wird.

In den, die vorliegende Frage eingehender behandelnden Untersuchungen des Verfassers wurde zunächst eine der mehrfach angeführten analoge Versuchsanordnung gewählt, nur mit dem Unterschiede, dass die U-förmigen, mit dem Versuchsmaterial beschickten Röhren nicht in einem gemeinsamen Wasserbade standen, sondern jede derselben in ein besonderes mit Wasser gefülltes Gefäss versenkt worden war. In jenen Behältern, in welchen das Wasser eine constante Temperatur von 10° C. zeigen sollte, befand sich eine Bleirohrspirale, durch welche Wasser von

---

[1]) Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs. Wien. 1878. Bd. I. Heft 2.

[2]) Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. II. Abthlg.

5—6° C. circulirte. Die fehlende Wärme wurde durch die unter dem Gefäss befindliche und durch einen Thermostaten (nach *Soxhlet*) regulirte Gasflamme zugeführt. Im Uebrigen wurde genau so verfahren wie in den bisher mitgetheilten Versuchen. Die Menge der aspirirten Bodenluft betrug jeweils ein Liter. Aus nachstehender Uebersicht ergeben sich die Resultate (Mittel aus je 2—3 Versuchen):

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

	Bodentemperatur.				
	10° C.	**20° C.**	**30° C.**	**40° C.**	**50° C.**
I.	(Composterde: 372 gr. Wassergehalt: 44 %.)				
	2,80	**15,46**	**36,24**	**42,61**	**76,32.**
II.	(Reiner Kalksand mit Torfpulver gemischt: 458 gr. Wassergehalt 13.09 %.)				
	5,42	**11,56**	**20,73**	**32,04**	**42,42.**
III.	(Composterde: 284 gr. Wassergehalt: 6,79 %.)				
	2,03	**3,22**	**6,86**	**14,69**	**25,17.**
IV.	(Composterde: 340,8 gr. Wassergehalt: 26,79 %.)				
	18,38	**54,24**	**63,50**	**80,06**	**81,52.**
V.	(Composterde: 397,6 gr. Wassergehalt: 46,79 %.)				
	35,07	**61,49**	**82,21**	**91,86**	**97,48.**

Nach diesen Zahlen stieg die Kohlensäureproduction der Böden mit der Temperatur, zuerst progressiv, dann allmählich abnehmend. Hieraus ist zu schliessen, dass die Zersetzung der organischen unter gleichen äusseren Verhältnissen in entsprechender Weise mit der Temperatur steigt und fällt.

Die Grenzwerthe der Wärmewirkung, über welche hinaus die Oxydation des Kohlenstoffs sistirt wird und innerhalb welcher in auf- und absteigender Intensität der Verwesungsprocess verläuft, sind bisher nicht näher ermittelt worden. Unterhalb des Gefrierpunktes des Wassers scheint eine Entwickelung von Kohlensäure nicht vor sich zu gehen; die bei Temperaturen unter Null in den Materialien gefundenen Kohlensäuremengen stammen aus Zersetzungen her, welche vor dem Frost bei höheren Temperaturen sich gebildet hatten. *J. Möller* lieferte hierfür den experimentellen Nachweis[1]). Ueber dem Gefrierpunkt des Wassers nimmt die Oxydation des Kohlenstoffs mit der Temperatur stetig zu bis zu einer bestimmten Grenze (Optimum), über welcher hinaus dieselbe bei weiterer Erhöhung der Temperatur abnimmt, um bei einer oberen Grenze (Maximum) aufzuhören. Das Optimum und Maximum der Wärme sind bezüglich der Kohlensäureproduction noch nicht genügend festgestellt. Nach den Untersuchungen des Verfassers und *J. Möller*'s läge ersteres bei 50—60° C., doch sind die betreffenden Ergebnisse insofern nicht ganz einwandsfrei, als die Beobach-

[1]) Er setzte 600 gr Düngererde in eine Kältemischung von Eis und Kochsalz und bestimmte die Kohlensäuremenge in 1 Liter Bodenluft mit 50,4 mgr. Des Nachts über war die Kältemischung aufgethaut, weshalb er dieselbe erneuerte. Die Erde blieb dann 10 Stunden im gefrorenen Zustande. Von den während dieser Zeit aspirirten Luftproben zeigte die erste Portion (1 Liter) 44,4 mgr (aus der aufgethauten Erde), die zweite 9,6, die dritte 5,4 und die letzte nur noch 0,4 mgr Kohlensäure. In einem zweiten Versuch, in welchem *Möller* dieselbe Erde in eine Kältemischung gesetzt hatte, wurden in dem ersten Liter Luft 15,2, in den beiden folgenden, in Intervallen von 2 Stunden aspirirten 8,0 resp. 0,4 mgr Kohlensäure, also kaum mehr, als in der atmophärischen Luft enthalten ist, gewonnen.

tungen nicht lange genug fortgesetzt wurden und ein mehr oder weniger grosser Theil der beobachteten Kohlensäuremengen aus den vor Anstellung der Versuche entwickelten herstammen konnte. Zuverlässiger, weil in höherem Grade analogen Erscheinungen entsprechend, scheinen die von *P. Kostytscheff*[1]) ermittelten Daten zu sein. Derselbe bestimmte die Kohlensäuremenge (in $\frac{1}{10}$ mgr), welche sich aus 100 gr getrockneter und gepulverter (frischer) Birkenblätter bei verschiedener Temperatur und Feuchtigkeit entwickelt hatten, wie folgt:

Temperatur.	Feuchtigkeit pro 100.				
	78,9	64,1	38,7	11,7	3,6
0—5° C.	1950	2088	2254	43	0
17° „	3785	3445	5184	23	0
35° „	14913	15441	15022	122	0
50° „	5188	5494	5544	379	59
65° „	3821	3957	4132	657	102.

Hieraus ist zu schliessen, dass das Optimum der Wärme bezüglich der Kohlensäureentwickelung bei ca. 35° C., das Maximum über 65°, aller Wahrscheinlichkeit nach bei etwa 80° C. gelegen ist.

Hinsichtlich der Oxydation des Stickstoffs (Nitrification) lehrten die Versuche von *Th. Schloesing*, dass dieselbe bei 5° C. äusserst langsam von Statten geht; bei 12° C. ist sie deutlich wahrnehmbar, bei 37° C. erreicht sie ihr Optimum und hört bei 55° C. vollständig auf.

c. Die Feuchtigkeit.

Welche Rolle das Wasser bei der Zersetzung der organischen Substanz spielt, hat *J. Möller*[2]) durch verschiedene Versuche festzustellen versucht. In Düngererde, welche bei 100° C. getrocknet worden war, zeigte sich keine Kohlensäurebildung. Dass aber auch durch blosse Einwirkung der Sonnenstrahlen der Erde so viel Feuchtigkeit entzogen werden kann, dass in ihr keine Kohlensäure mehr entsteht, zeigten folgende Versuche.

Weissbuchenlaub und Schwarzföhrennadeln wurden an der Sonne gedörrt und je 5 gr davon mit 300 gr gleichfalls getrocknetem Quarzsand gemischt. Ausserdem wurden 300 gr an der Sonne getrocknete Composterde verwendet. Alle drei Bodenproben wurden in Apparate gebracht, welche so beschaffen waren, dass die atmosphärische Luft nicht zur Erde gelangen konnte. Die, für die aspirirte, einströmende Luft wurde zuvor ihrer Kohlensäure beraubt. Die Resultate weist die folgende Tabelle nach:

	Kohlensäure in 1000 Theilen Luft.		
	Laub	Nadeln	Composterde.
13. Juli	0,87	2,60	—
14. „	0,55	0,99	4,38
16. „	—	—	2,32
20. „	0,43	0,00	0,87
21. „	0,00	—	0,00
27. „	0,00	0,00	0,00.

[1]) Annales de la Science agronomique française et étrangère. 1887. T. II. Fasc. 2. p. 165.
[2]) a. a. O. S. 136—140.

An dem letzten Versuchstage brachte *Möller* in jedes Gefäss 50 ccm destillirtes, eben ausgekochtes Wasser. Die weiteren Kohlensäurebestimmungen lieferten nun folgendes Ergebniss:

	Kohlensäure in 1000 Theilen Luft.		
	Laub.	Nadeln.	Composterde.
27. Juli	5,45	1,30	4,58
28. „	1,30	0,87	9,98
29. „	28,17	7,58	26.44
30. „	36,84	10,83	20,04
31. „	49,29	13,00	21,66.

Aus diesen Zahlen erhellt, dass Austrocknung des Bodens mit einer Verarmung desselben an Kohlensäure verknüpft ist, während Anfeuchtung die Entwickelung der letzteren in beträchtlichem Grade hebt.

J. von Fodor[1]) benutzte in seinen, denselben Gegenstand betreffenden Untersuchungen gleiche Mengen Sand, die gleichmässig mit 5 gr Zucker und 1 gr Harnstoff gemischt und mit verschiedenen Wassermengen benetzt wurden. In 24 Stunden entwickelten sich folgende Kohlensäuremengen:

	Wassergehalt des Bodens:			
	2 %.	4 %.	8 %.	17 %.
30. Mai	2,0 ccm	24,0 ccm	41,0 ccm	66,0 ccm
31. „	3,0 „	18,6 „	44,7 „	74,1 „
9. Juni	5,0 „	121,4 „	138,0 „	211,4 „ .

Es ist ersichtlich, dass die Zersetzung der organischen Substanzen mit der Feuchtigkeit zunimmt. Die Erhöhung erfolgt aber nicht an beiden gleichmässig: während die Feuchtigkeit in geometrischer Progression ansteigt, nimmt die Kohlensäure bloss in einem arithmetischen Verhältniss zu.

Auffallend ist der enorme Unterschied im Zersetzungsprocesse, welcher durch den Uebergang der Feuchtigkeit von 2 % auf 4 % hervorgerufen wird. Bei 2 % entwickelt sich nach längerer Zeit kaum eine Spur von Kohlensäure; bei 4 % ist die Kohlensäureentwickelung schon heftig, sie beträgt das 10—20fache der Production bei 2 %.

In den vom Verfasser[2]) ausgeführten Versuchen wurden die Böden im lufttrockenen Zustande sorgfältig gemischt und in mehrere Partien von gleichem Gewicht gebracht, von welchen jede in einer Porzellanschale mit der betreffenden Menge von destillirtem Wasser so gleichmässig als möglich zusammengerührt und gleich darauf in die U-förmigen Röhren gefüllt wurde.

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.		
Wassergehalt des Bodens:	6,79 %	26,79 %	46,79 %.
I.	(Composterde.	Bodentemperatur:	10° C.)
	2,03	**18,38**	**35,07.**
II.	(Composterde.	Bodentemperatur:	20° C.)
	3,22	**54,24**	**61,49.**
III.	(Composterde.	Bodentemperatur:	30° C.)
	6,86	**63,50**	**82,12.**

---

[1]) a. a. O. S. 44.

[2]) Journ. f. Landw. 1886. S. 243.

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.		
Wassergehalt des Bodens:	6,79 %	26,79 %	46,79 %.
IV.	(Composterde.	Bodentemperatur:	40° C.)
	14,69	**80,06**	**91,86.**
V.	(Composterde.	Bodentemperatur:	50° C.)
	25,17	**81,52**	**97,48.**

In allen Versuchen[1]) zeigt sich übereinstimmend, dass die Zersetzung der organischen Stoffe mit deren Feuchtigkeitsgehalt zunimmt.

Dieser Satz wird indessen nur für jene Fälle Giltigkeit haben, wo der Zutritt der Luft durch das die Poren erfüllende Wasser keine wesentliche Einschränkung erleidet. Ueber ein bestimmtes Maass hinaus muss aber das Wasser die Kohlensäurebildung herabdrücken, weil der Luftzutritt durch das in grösseren Mengen vorhandene Wasser vermindert wird (S. 118). Die Kohlensäureentwickelung hört indessen, genau so, wie dies bei der Verdrängung der Luft durch ein bei dem Zerfall nicht betheiligtes Gas beobachtet wird, in einem mit Wasser vollständig durchtränkten Boden nicht auf, wenngleich dieselbe hier wie dort eine sehr beträchtliche Beschränkung erleidet.

Der Nachweis hierfür wurde durch einen Versuch des Verfassers geliefert, in welchem Torfboden (aus dem Kolbermoor, Oberbayern) behufs Entfernung aller Kohlensäure 3 Tage gekocht, in eine weite Glasröhre gefüllt und in dieser unter Wasser (3 cm hoch) gesetzt wurde. Bei jedesmaliger Bestimmung der Kohlensäure wurden 2 l Stickstoff durch die nasse Bodenmasse von unten her hindurchgepresst und das Gas alsdann durch eine Barytröhre geleitet. Bei einer Temperatur von 30° C. betrug die entwickelte Kohlensäure im Mittel von je 7 Versuchen 1,683 Vol. auf 1000 Vol. des Gases. In einem zweiten Versuch wurde ebenso verfahren. Um aber gleichzeitig die Grösse der Depression in der Kohlensäurebildung durch den Luftabschluss zu ermitteln, wurde in einem dritten Versuch 3 Wochen nach Anstellung desselben statt des Stickstoffs atmosphärische Luft eine Zeit lang durch den Boden unter Druck geleitet und die hierbei entwickelten Kohlensäuremengen beobachtet. Im Mittel von je 13 Versuchen betrug die Kohlensäuremenge

ohne Luftzutritt . . . 1,964 Vol. pro 1000 Vol.,
mit „ . . . 5,165 „ „ „ „ .

Diesen Zahlen wird entnommen werden können, dass die Oxydation des Kohlenstoffs in einem vollständig durchnässten Boden zwar nicht aufhört, aber bedeutend herabgemindert ist. Im Zusammenhalt mit den oben mitgetheilten Ergebnissen derjenigen Versuche, welche bezüglich des Einflusses der Luft resp. Sauerstoffzutritts auf die Zersetzung angestellt wurden, erscheint sonach die Schlussfolgerung gerechtfertigt, dass die Kohlensäurebildung bei einem gewissen mittleren Feuchtigkeitsgehalt der verwesenden Substanz am lebhaftesten vor sich geht und von dieser Grenze (Optimum) ab mit ab- oder zunehmenden Wassermengen sich stetig vermindert und zwar derart, dass im lufttrockenen Zustande der Substanz keine, bei vollständigem Erfülltsein letzterer mit Wasser nur eine schwache Entwickelung von Kohlensäure stattfindet[2]).

[1]) Vergl. auch die Resultate des oben (S. 123) mitgetheilten Versuchs von *Kostytscheff*.

[2]) Lehrreich in dieser Beziehung ist auch der S. 123 angeführte Versuch von *Kostytscheff*.

Für die Nitrification gelten dieselben Gesetzmässigkeiten. Die Intensität des Processes nimmt mit dem Wassergehalt der Substanz innerhalb gewisser Grenzen zu, wie z. B. aus folgendem Versuch von *P. P. Dehérain*[1]) ersichtlich ist. Kleine Gefässe mit 100 gr Erde, welche mit 5, 10, 15, 20 und 25 ccm Wasser durchfeuchtet worden war, wurden unter eine Glasglocke, in welcher sich ein mit Wasser gefülltes Gefäss befand, gebracht. Die Erde enthielt Anfangs 0,160 gr Stickstoff in organischer Form und 0,015 gr Salpetersäure in 100 gr. In 90 Tagen wurden folgende Mengen von Salpetersäure gebildet:

Wassermenge im Boden:	5 ccm	10 ccm	15 ccm	20 ccm	25 ccm
In 100 gr Erde Salpetersäure (mgr):	25	26	27	29	37.

In einem zweiten Versuch wurden der Erde pro 100 gr 0,010 gr Ammonsulfat zugeführt. Für den gleichen Zeitraum wie im vorigen Versuche betrug die Menge der entstandenen Salpetersäure:

Wassermenge im Boden:	5 ccm	10 ccm	15 ccm	20 ccm	25 ccm
In 100 gr Erde Salpetersäure (mgr):	19	49	57	60	53.

Berücksichtigt man ferner, dass Erde, die in lebhafter Nitrification begriffen ist, durch Austrocknen ihr Salpeterbildungsvermögen vollständig einbüsst und dass bei vollständigem Erfülltsein des Bodens mit Wasser sich überhaupt keine Salpetersäure bildet, dass im Gegentheil die vorhanden gewesene unter solchen Umständen reducirt wird[2]), so folgt aus allen diesen Beobachtungen, dass die für die Oxydation des Kohlenstoffs gefundenen Gesetzmässigkeiten auch für jene des Stickstoffs volle Giltigkeit haben, so weit diese Vorgänge von dem Feuchtigkeitsgehalt des Materials beherrscht werden.

d. Das Licht.

Der Einfluss des Lichtes auf die chemischen Processe bei der Verwesung ist bisher nur hinsichtlich der Salpeterbildung festgestellt worden. Nach *J. Soyka*[3]) übt das Licht einen hemmenden Einfluss auf die Nitrification aus, während Dunkelheit in dieser Beziehung von günstiger Wirkung ist. Von zwei Proben Kies, der mit verdünntem Harn befeuchtet worden war, wurde die eine dem Licht ausgesetzt, die andere demselben entzogen. Es fand sich Stickstoff in Form von Nitraten und Nitriten auf 100 ccm Harn

	Versuch I	Versuch II
bei Lichteinfluss	19 mgr	110 mgr
ohne „	86 „	360 „

Zu demselben Resultate gelangte *R. Warington*[4]).

e. Die Electricität.

Von verschiedenen Seiten wurde geltend gemacht, dass mittelst eines galvanischen Stromes eine Lösung gewisser Bodenbestandtheile bewirkt werden könne[5]). Da hiermit die Möglichkeit einer Beeinflussung der Zersetzung der organischen Stoffe nicht ausgeschlossen wäre, sah sich Verfasser[6]) veranlasst, diese Frage einer

[1]) Annales agronomiques. T. XIII. Nr. 6. 1887. p. 241—261.
[2]) *J. von Fodor.* a. a. O.
[3]) Zeitschrift für Biologie. Bd. XIV. 1878.
[4]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XXIV. 1879. S. 161—166.
[5]) Agronomische Zeitung. 1861. S. 550.
[6]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XI. 1888. S. 105—111.

experimentellen Prüfung zu unterziehen und zwar in folgender Weise. Die mit gleichen Flüssigkeitsmengen imprägnirten Böden wurden, wie dies in den bereits mehrfach angezogenen Versuchen der Fall war, in U-förmige Röhren verbracht, und in den beiden Schenkeln der letzteren auf der Oberfläche mit dicht an das Versuchsmaterial anschliessenden Metallplatten belegt, die durch übersponnene Kupferdrähte mit den Polen einer electrischen Batterie oder eines Inductionsapparates in leitende Verbindung gesetzt waren. Die bei einer Temperatur von 30° C. in gleichen Zeitintervallen (24 Stunden) entwickelten Kohlensäuremengen (im Mittel von je 8 Versuchen) stellten sich wie folgt:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

	Inductionsstrom (2 Elemente).	2 Meidinger Elemente.	1 Meidinger Element.	Ohne Electricität.
I. (Gemisch von 450 gr Quarzsand, 2 gr Pferdedüngerpulver u. 60 gr dest. Wasser.)	**12,12**	**12,37**	**12,74**	**13,33.**
II. (Gemisch von 450 gr Quarzsand, 2 gr Roggenstroh [gepulvert] u. 60 gr dest. Wasser.)	**7,79**	**7,23**	**7,60**	**7,57.**
III. (Gemisch von 450 gr Quarzsand, 2 gr Oldenburger Torf [gepulvert] u. 60 gr dest. Wasser.)	**2,31**	**2,17**	**2,24**	**2,25.**

	Inductionsstrom (3 Elemente)	3 Meidinger Elemente.	1 Meidinger Element.	Ohne Electricität.
IV. (250 gr Ackererde [humoser Kalksand] u. 80 gr. dest. Wasser.)	**15,60**	**14,36**	**15,89**	**15,54.**

	Inductionsstrom (5 Elemente)	5 Meidinger Elemente	Ohne Electricität.
V. (Gemisch von 450 gr Quarzsand, 2 gr Pferdedüngerpulver u. 60 gr dest. Wasser.)	**11,89**	**12,96**	**11,41.**
VI. (250 gr Ackererde [humoser Kalksand] und 50 gr dest. Wasser.)	**11,32**	**11,88**	**12,45.**
VII. (Gemisch von 450 gr Quarzsand, 2 gr Roggenstroh [gepulvert] u. 60 gr. dest. Wasser.)	**5,89**	**6,98**	**6,69.**

Diese Zahlen zeigen mit grosser Uebereinstimmung, dass die Zersetzung der organischen Substanzen weder durch einen Inductionsstrom, noch durch einen galvanischen Strom von verschiedener Stärke beeinflusst wird. Wäre dies der Fall, so hätten die Kohlensäuremengen, welche in der Bodenluft unter übrigens gleichen Verhältnissen enthalten waren, Unterschiede aufweisen müssen. Letztere fielen indessen so gering aus, dass die Resultate der Versuche als übereinstimmend betrachtet werden müssen.

Behufs Feststellung des Einflusses eines galvanischen Stromes auf die Salpeterbildung wurden je 2,5 kg gut gemischte feuchte Gartenerde im feuchten Zustande in zwei Glascylinder gefüllt, welche, mit einem Pappdeckel bedeckt, drei Monate lang in einem mässig temperirten Zimmer aufgestellt waren. Während dieser Zeit wurde durch die Erde des einen Cylinders ein electrischer Strom aus einem Meidinger Element geleitet. Beide Erdproben wurden schliesslich mit 2 l dest. Wasser ausgezogen. In dem Filtrat wurden, berechnet auf 1000 Theile des trockenen Bodens, gefunden:

	Ammoniak.	Salpetersäure.
Electrisirt	0,006	0,088
Nicht electrisirt . . .	0,010	0,077.

Diese Zahlen sprechen zwar für eine schwache Förderung der Salpeterbildung durch einen galvanischen Strom von geringer Stärke, doch dürfte die Zuverlässigkeit dieses Ergebnisses Angesichts der ausserordentlich geringen Mengen an löslichen Stickstoffverbindungen in der Erde fraglich erscheinen.

f. Chemische Agentien.

Für den Verlauf des Verwesungsprocesses ist das Vorhandensein von Säuren, Basen und Salzen unter übrigens gleichen Verhältnissen von wesentlichem Belang, eine Thatsache, die auch in praktischer Hinsicht von Wichtigkeit ist, insofern die Kenntniss derselben die Auffindung von Mitteln ermöglicht, die in Rede stehenden Vorgänge in der einen oder anderen Richtung künstlich zu beeinflussen.

Soweit hierüber Untersuchungen vorliegen, lässt sich zunächst constatiren, dass ein Zusatz von **Säuren** die Verwesung der organischen Substanz verlangsamt. Der Nachweis hierfür wurde von dem Verfasser[1]) geliefert durch Bestimmung der Kohlensäuremengen, welche sich in einem Gemisch von Quarzsand (400 gr) und Pferdedüngerpulver (2 gr) auf Zusatz von 40 ccm 0,1—0,2 procentischer Mineralsäuren im Vergleich zu derselben Menge destillirten Wassers bei Luftzutritt innerhalb eines Zeitraumes von 24 Stunden entwickelten. Im Mittel von je 8 Versuchen wurde hierbei gefunden:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

Zusatz:	Wasser.	Salzsäure.	Salzsäure.	Schwefelsäure.	Salpetersäure.	Phosphorsäure.
Gehalt d. Lösung:	—	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%
(In Proc. d. Bodens:)	—	(0,01)	(0,02)	(0,01)	(0,01)	(0,01)
Kohlensäure:	**18,410**	**15,086**	**10,477**	**12,503**	**10,294**	**17,380.**

Diese Zahlen vermitteln die Thatsache, dass die Oxydation des Kohlenstoffs bei der Verwesung der organischen Substanzen durch Gegenwart von Mineralsäuren, selbst von geringen Mengen derselben, herabgedrückt wird und um so mehr, je grösser der Säureüberschuss ist. In gleicher Weise wird die Nitrification durch Säurezusatz nicht allein vermindert, sondern bereits bei schwachsaurer Reaction des Substrates vollständig aufgehoben. Dies gilt auch von der salpetrigen und Salpeter-Säure selbst, sobald dieselben sich, ohne gebunden zu werden, in einer nitrificirenden Substanz in einer gewissen Menge angesammelt haben.

Bezüglich des Einflusses der **Alkalinität** der die organischen Stoffe imprägnirenden Flüssigkeit auf die Zersetzung wurde vom Verfasser ein aus 400 gr Quarzsand und 4 gr gepulvertem Roggenstroh hergestelltes Gemisch theils mit Wasser, theils mit verschieden concentrirten Lösungen von Aetzkali (40 ccm) angefeuchtet und, wie in den bisher mitgetheilten Versuchen, bei einer Temperatur von 30° C. der Verwesung ausgesetzt. Die gewonnenen Resultate (Mittel aus je 9 resp. 7 Versuchen) sind aus folgender Tabelle zu ersehen.

[1]) Journ. f. Landw. 1886. S. 255.

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

Zusatz:	Wasser.	Kalilösung.				
Concentration der Lösung:	—	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %	5 %
(In Proc. des Bodens:)	—	(0,01)	(0,05)	(0,10)	(0,20)	(0,50)
Kohlensäure:	**8,099**	**10,493**	**9,260**	**8,059**	**4,994**	**0,609.**

In dem folgenden Versuch bestand das Bodengemisch aus 300 gr Quarzsand, 5 gr Torfpulver (Oldenburger Streutorf) und 60 ccm Lösung resp. Wasser. Die ermittelten Kohlensäuremengen betrugen:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

Zusatz:	Wasser.	Kalilösung.		
(In Proc. des Bodens:)	—	(0,016)	(0,033)	(0,067)
Kohlensäure:	**3,605**	**4,083**	**4,518**	**5,005.**

Aus den Daten beider Tabellen kann die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass die Verwesung der organischen Substanzen bei Gegenwart von schwachen alkalischen Lösungen gefördert, unter dem Einfluss stärkerer Lösungen dagegen vermindert wird, und zwar in dem Grade, als deren Concentration zunimmt.

Die Ursache letzterer Erscheinung beruht nicht, wie etwa angenommen werden könnte, auf der Bindung der entwickelten Kohlensäure durch das Kali, denn die Menge der freien Kohlensäure reicht vollkommen aus, um innerhalb kürzester Frist das vorhandene Kali in Carbonat überzuführen, selbst bei stärkeren Kalidosen. Gegen eine derartige Annahme würde überdies die Thatsache sprechen, dass Alkalicarbonate eine ähnliche Wirkung wie das Alkalihydrat auszuüben vermögen. Bei Prüfung dieser Verhältnisse ging Verfasser bezüglich der Wahl der Concentration der Lösung von den bisher gewonnenen Erfahrungen aus und benutzte demgemäss nur schwache Lösungen. In dem einen Versuch (I) wurden die Bodenröhren mit einem Gemisch aus 400 gr Quarzsand, 4 gr gepulvertem Roggenstroh und 40 ccm der Lösung, in dem folgenden Versuch (II) mit einem Gemenge von 300 gr Quarzsand, 5 gr Oldenburger Torf (gepulvert) und 60 ccm der Lösung beschickt. Die Analysen der aspirirten Luft lieferten im Mittel von je 7 Versuchen folgendes Ergebniss:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

I. Zusatz:	Wasser.	Kaliumcarbonatlösung.		Natriumcarbonatlösung.		
Concentration der Lösung	—	0,01 %	0,05 %	0,05 %	0,1 %	0,2 %
(In Proc. des Bodens:)	—	(0,001)	(0,005)	(0,005)	(0,01)	(0,05)
Kohlensäure:	**11,289**	**12,321**	**12,541**	**12,014**	**12,093**	**13,187.**

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

II. Zusatz:	Wasser.	Kaliumcarbonatlösung.	
Concentration der Lösung	—	0,167 %	0,334 %
(In Proc. des Bodens:)	—	(0,033)	(0,067)
Kohlensäure:	**3,605**	**4,638**	**5,801.**

Diese Zahlen thun dar, dass schwache Lösungen von Alkalicarbonaten der Verwesung der organischen Stoffe, besonders der bereits in Zersetzung übergegangenen (Torf), Vorschub leisten.

Die Wirkung der Hydrate und Carbonate der alkalischen Erden auf die Verwesung der organischen Substanzen wird verschieden beurtheilt. Während von

der einen Seite denselben ein die Zersetzung fördernder Einfluss zugeschrieben wird, begegnet man auf der anderen Seite Beobachtungen, nach welchen diese Substanzen den Zerfall der organischen Stoffe hemmen. Letzteres gilt von den diesbezüglichen von *E. Wolff*[1]) und *J. Nessler*[2]) angestellten Versuchen.

Ersterer überliess frischen Mist, der analysirt worden war, unter verschiedenen Bedingungen der Verwesung. Eine Portion wurde im Freien „verrotten" gelassen, zwei andere unter einem Dach, ohne Zusatz und mit einem solchen von Aetzkalk (250 gr pro Kubikfuss Mist) aufbewahrt. Nach 15 Monaten waren noch folgende (in Procenten der ursprünglich vorhandenen) Mengen der einzelnen Stoffe vorhanden.

	Im Freien.	Unter Dach.	
		Ohne Zusatz.	Mit Aetzkalk.
Feuchter Mist	46,9	48,8	41,1
Organische Substanz	25,2	33,8	44,0
Stickstoff	44,1	67,6	92,5.

Der Zusatz von Aetzkalk hatte sonach den Verlust an organischer Substanz und auch an Stickstoff beträchtlich herabgedrückt und demnach einen hemmenden Einfluss auf die Verwesung ausgeübt.

In den Versuchen *Nessler*'s übte ein Zusatz von Aetzkalk zu verschiedenen organischen Substanzen, wie z. B. Torf, rohes und gedämpftes Knochenmehl, in den ersten drei Monaten einen entschieden verzögernden Einfluss auf die Zersetzung aus, in den folgenden neun Monaten fand entweder ein Ausgleich statt, oder die Zersetzung wurde gefördert, jedoch so, dass in der Zusammensetzung der Versuchsmaterialien die Verminderung der Zersetzung durch den Kalk nach einem Jahr immer noch deutlich hervortrat.

Zu einem anderen Resultat gelangte *P. Petersen*[3]), welcher fand, dass die Zersetzung von Materialien, welche sauere humose Stoffe enthalten, durch Zuführung von kohlensaurem Kalk gefördert wird. Im Wesentlichen wurden diese Versuche mit einer Laubholzerde von stark sauerer Reaction mit einem Humusgehalt von 58% ausgeführt und in dem einen Fall der Masse 1%, in dem anderen 3% Kalkcarbonat zugesetzt. Es waren in 16 Tagen aus gleich grossen Proben (20,6 gr trocken) entwickelt worden:

	I.		II.	
	Ohne Zusatz	mit 1% Kalkcarbonat	Ohne Zusatz	mit 3% Kalkcarbonat.
Kohlensäure:	47,20 mgr	181,12 mgr	44,67 mgr	244,71 mgr.

Wenngleich ein Theil der Kohlensäure des gekalkten Materials aus der bei Verbindung der Humussäure mit dem Kalk aus dem Kalkcarbonat abgespaltenen Kohlensäure herstammen mag, so ist doch im günstigsten Fall die Menge derselben, wie genannter Forscher für Versuch I nachweist, geringer als die in der gekalkten Substanz beobachtete. Es wird hieraus gefolgert, dass die Verwesung sauerer humoser Stoffe durch Mischung derselben mit Kalkcarbonat gefördert wird.

Zur Prüfung vorstehender, von einander abweichender Beobachtungsergebnisse hat Verfasser[4]) eine Reihe von Versuchen ausgeführt, in welchen zunächst U-förmige Glasröhren einerseits mit einem Gemisch von Quarzsand (400 gr) und feingepulvertem

---

[1]) Landw. Versuchsstationen. 1859. S. 141.

[2]) Bericht über Arbeiten der Grossh. Versuchsstation Karlsruhe. Karlsruhe 1870. S. 93—103.

[3]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Bd. XIII. 1870. S. 155—175.

[4]) Journ. f. Landw. 1886. S. 261.

Roggenstroh (4 gr) mit 40 ccm destillirtem Wasser durchfeuchtet (I), andererseits mit einem solchen aus Quarzsand (300 gr) und Torfpulver (5 gr), mit 60 ccm Wasser angefeuchtet (II), beschickt wurden. Die auf diese Weise hergerichteten Materialien wurden mit verschiedenen Mengen Aetzkalk, welcher in dem zur Anfeuchtung dienenden Wasser suspendirt wurde, versetzt, theils ohne Zusatz der Untersuchung unterzogen. Die folgenden Tabellen geben über die gewonnenen Daten (Mittel aus je 8 Versuchen) Aufschluss:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

I. Zusatz:	Ohne.	Aetzkalk.				
	—	0,04 gr	0,2 gr	0,4 gr	0,8 gr	2,0 gr
Kohlensäure:	**12,981**	**10,949**	**9,819**	**6,837**	**0,456**	**0,350.**

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

II. Zusatz:	Ohne.	Aetzkalk.		
	—	0,05 gr	0,1 gr	0,2 gr
Kohlensäure:	**3,194**	**3,374**	**3,614**	**3,902.**

Der Zusatz von Aetzkalk hatte sonach die Kohlensäureproduction bei den unzersetzten organischen Stoffen (Roggenstroh) herabgesetzt, dagegen bei den bereits in Zersetzung übergegangenen Materialien (Torf) vermehrt.

Dass die geschilderten Erscheinungen bezüglich der Zersetzung des Strohes hauptsächlich auf einer specifischen Wirkung des Aetzkalkes und nicht allein auf einer Bindung der Kohlensäure durch denselben beruhen, ergiebt sich aus der Erwägung, dass die in letzterer Beziehung für die Kohlensäureproduction verloren gehenden Kohlensäuremengen nicht so gross sind, um die in fraglichem Versuch hervorgetretene Verminderung in der Kohlensäureentwickelung zu erklären. Der Boden ohne Zusatz hatte während der Dauer des Versuchs, in dem Betracht, dass bei jedem Versuch 2 Liter und in den Zwischenräumen je 1 Liter Luft aspirirt wurden, mindestens 596,8 mgr Kohlensäure entwickelt. Zur Bindung von 0,04, 0,2, 0,4, 0,8 und 2,0 gr Kalk sind erforderlich: 18 resp. 90, 180, 360 und 540 mgr oder in Procenten von 596,8 = 3,0, 15,1, 30,2, 60,4 und 90,6. Die Verminderung in der Kohlensäureproduction betrug (%) 15,7, 23,6, 47,3, 96,3, 97,3. Es ergiebt sich hieraus ohne Weiteres, dass die in Rede stehenden Wirkungen des Aetzkalkes nicht allein auf eine Bindung der entwickelten Kohlensäure zurückgeführt werden können.

In anderweitigen Versuchen des Verfassers wurden die Versuchsmaterialien in 0,5 m hohe Cylinder aus Zinkblech, welche einen Querschnitt von 1000 qcm besassen, so gleichmässig als möglich eingefüllt. Jedes Gefäss war am Boden mit einer schräg nach aussen laufenden, 30 cm langen Blechröhre versehen, welche durch einen Kautschukpfropfen geschlossen erhalten wurde und die den Zweck hatte, das bei grösseren atmosphärischen Niederschlägen in der Tiefe sich ansammelnde Wasser gelegentlich ablassen zu können.

Die Blechcylinder wurden im Freien in einen aus starken Brettern angefertigten, 0,5 m hohen Kasten gestellt. Die Entfernung der Gefässe von der inneren Wand des letzteren, sowie von einander betrug 30 cm. Der gebildete Zwischenraum wurde bis zum Rande des Kastens resp. der Cylinder mit Erde gefüllt, um die seitliche Erwärmung des Versuchsbodens thunlichst hintanzuhalten. Die zur Abfuhr des über-

schüssigen Wassers bestimmte Röhre mündete, durch einen Schlitz geführt, ausserhalb der Kastenwand.

Als Versuchsböden wurden verwendet: Lehm, Quarz- und Kalksand [1]), welchen zu $^1/_4$ dem Volumen nach Torfpulver zugemischt worden war und ausserdem reiner Torf [2]) in grobkörnigem Zustande. Die Füllung der Gefässe erfolgte im zeitigen Frühjahr 1880. Den Winter über blieben sie im Freien und wurden ohne Umfüllung mit demselben Material im folgenden Jahre (1881) der Untersuchung unterzogen.

Die Menge des dem Boden durch Mischung zugeführten Aetzkalkes betrug überall 614 grm pro 50 Liter Boden, in Procenten vom Gewicht des lufttrockenen Bodens 1 % (Lehm), 0,8 % (Quarzsand), 0,9 % (Kalksand) und 3,5 % (Torf). Die aus einer Tiefe von 30 cm aspirirten Luftproben enthielten folgende Kohlensäuremengen im Mittel:

Datum.	Zahl der Analysen.	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.							
		Lehm + $^1/_4$ Vol. Torf		Quarzsand + $^1/_4$ Vol. Torf		Kalksand + $^1/_4$ Vol. Torf		Torf	
		mit Aetzkalk.	ohne Aetzkalk.	mit Aetzkalk.	ohne Aetzkalk.	mit Aetzkalk.	ohne Aetzkalk.	mit Aetzkalk.	ohne Aetzkalk.
23. April bis 27. Septbr. 1880	14	0,500	3,633	0,783	2,481	0,674	3,385	2,439	4,477
19. April bis 17. Juni 1881	5	1,939	2,015	—	—	1,570	2,863	—	—
4. Juli bis 3. October 1881	7	3,012	2,674	—	—	3,588	3,233	—	—
19. April bis 4. Juli 1881	6	—	—	1,706	1,721	—	—	2,931	2,579
16. Juli bis 3. October 1881	6	—	—	2,315	2,037	—	—	3,895	3,739

In Ansehung der langsamen Zersetzung des Torfes wurde in dem folgenden Jahre (1882) der Boden mit einem leichter verwesenden Material, mit Pferdedüngerpulver [3]), versehen und neben Aetzkalk noch chemisch reiner kohlensaurer Kalk in Anwendung gebracht. Um nochmals das Verhalten der natürlichen Humuskörper zu beiden Kalkverbindungen zu studiren, wurde ungedüngter humoser Kalksand (Ackererde des Versuchsfeldes) verwendet. Die Menge des zugeführten Kalkhydrates betrug 500 gr, die des kohlensauren Kalkes 660 gr pro 50 Liter Boden. Die Ergebnisse der Analysen der Bodenluft stellten sich wie folgt:

[1]) Isarkalksand, 84,6 % kohlensauren Kalk enthaltend.

[2]) Grobgepulvert, aus unteren Schichten des Schleissheimer Moores (bei München) entnommen.

[3]) Aus getrocknetem, mässig zersetzten Pferdedünger hergestellt.

Datum.	Zahl der Analysen.	Vol. Kohlensäure mit 1000 Vol. Bodenluft.								
		Humoser Kalksand mit Pferdedünger			Reiner Kalksand mit Pferdedünger			Humoser Kalksand ungedüngt		
		ohne Aetzkalk.	mit Aetzkalk.	mit kohlens. Kalk.	ohne Aetzkalk.	mit Aetzkalk.	mit kohlens. Kalk.	ohne Aetzkalk.	mit Aetzkalk.	mit kohlens. Kalk.
29. April bis 26. Mai 1882	3	16,660	0,120	**16,813**	10,864	0,512	**10,954**	2,998	0,276	**3,117**
14. Juni bis 24. Juli 1882	4	16,721	**21,342**	14,874	10,564	8,984	10,113	5,388	**5,793**	**5,491**
7. Aug. bis 22. Sept. 1882	4	8,093	4,293	6,975	3,382	**3,454**	**4,061**	3,284	2,309	3,059

Die Wirkung des Aetzkalkes macht sich sonach zunächst in der Weise geltend, dass in Folge Bindung des grössten Theils der entwickelten Kohlensäure der Kohlensäuregehalt der Bodenluft herabgedrückt wird, worauf eine Periode folgt, in welcher derselbe erhöht wird, bis schliesslich die Kohlensäureproduction des gekalkten wieder unter jene des nicht gekalkten Bodens herabsinkt. Bei Anwendung von Kalkcarbonat wird die Kohlensäureentwickelung im Allgemeinen gleich anfangs gefördert und dauert die Wirkung länger an als bei jener von Kalkhydrat. Späterhin wird aber auch in dem mit kohlensaurem Kalk versehenen Boden weniger Kohlensäure producirt als in dem ohne Zusatz.

Bei Zusammenfassung sämmtlicher bisher in vorwürfiger Frage ermittelten Daten gelangt man zu der Schlussfolgerung, dass die Verwesung unzersetzter organischer Substanzen auf Zusatz von Kalkhydrat (oder Kalkcarbonat) verzögert, dagegen jene der bereits in Zersetzung übergegangenen und mit mehr oder weniger grossen Mengen von Humussäuren versehenen Materialien unter solchen Umständen gefördert zu werden scheint.

Dieser Einfluss des Kalkes auf die Zersetzung bereits dem Zerfall unterlegener Stoffe beruht darauf, dass die gebildeten Humussäuren sich mit dem Kalk zu Salzen verbinden, welche, wie vielfach angenommen wird, leichter verwesen als die ungebundenen Säuren. Um die Richtigkeit dieser Ansicht zu prüfen, hat Verfasser Torf aus dem Kolbermoor bei Aibling (Oberbayern), welcher einen sehr geringen Aschengehalt besitzt, behufs Lösung der Humussäuren mit einer mässig concentrirten Kalilösung übergossen und bei Zimmertemperatur einige Zeit stehen lassen, worauf die dunkel gefärbte Lösung durch Filtriren von dem nicht gelösten Theil abgeschieden und in zwei Portionen getheilt wurde, von denen die eine zur Herstellung der ungebundenen Humussäure, die andere zur Bildung von humussaurem Kalk verwendet wurde. Dies geschah durch Mischung der humussaures Alkali enthaltenden Flüssigkeit mit Salzsäure resp. mit Chlorcalcium. Die Niederschläge wurden auf dem Filter durch Aussüssen mit warmem destillirten Wasser gereinigt, getrocknet und gewogen. Weiterhin wurde der Kalkgehalt des humussauren Salzes ermittelt und hiernach von beiden Präparaten für die Zersetzungsversuche Portionen abgewogen, welche gleich viel Humussäure enthielten.

Bei Anstellung der Versuche wurden je 86 gr Quarzsand mit 11,465 gr humussaurem Kalk resp. 10,483 gr Humussäure gemengt und durch 5 gr Wasser angefeuchtet (I). Da die angewendete Wassermenge sich als unzureichend erwies, wurde

das Gemisch mit noch weiteren 10 ccm Wasser versetzt. Die aspirirte Luftmenge betrug bei jedem Versuch 0,5 Liter. Das Resultat erhellt aus nachstehender Zusammenstellung:

	Zahl der Analysen.	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft. Humussaurer Kalk.	Humussäure.
I	3	**10,600**	**4,418**
II	10	**16,129**	**8,949.**

Der humussaure Kalk zersetzt sich sonach viel schneller als die reine Humussäure. Dadurch erklären sich die durch den Kalk in obigen Versuchen hervorgetretenen günstigen Wirkungen desselben auf den Zerfall organischer Stoffe.

Für die Nitrification erweist sich die Gegenwart von Basen oder Verbindungen von basischem Charakter (Alkalien und alkalische Erden und deren Carbonate) von ganz hervorragender Bedeutung. Dies ist zunächst den Versuchen von *R. Warington*[1]) zu entnehmen, welcher zeigte, dass die Alkalinität des Materials auf den Nitrificationsprocess einen wesentlichen Einfluss ausübt. In saueren Lösungen tritt, wie bereits oben bemerkt, keine Salpeterbildung ein; es ist wesentlich, dass irgend eine Base zugegen ist, mit der sich die Salpetersäure verbinde. Wenn alle verwendbaren Basen verbraucht sind, hört die Salpeterbildung auf. Wurde eine verdünnte Harnlösung ohne weiteren Zusatz als das nitrificirende Ferment sich selbst überlassen, so verwandelte sich der Harnstoff zunächst in Ammoniumcarbonat, welches der Salpetersäure als Basis dienen konnte, aber mit der Zeit erschöpft wurde. Das Resultat des Versuches war in der That, dass nur die Hälfte der Salpetersäure gebildet wurde, als unter ähnlichen Bedingungen, wenn Calcium- und Natriumcarbonat in der Lösung enthalten waren; offenbar war die Salpeterbildung vor sich gegangen, bis alles Ammoniak in Ammoniumnitrat verwandelt war und dann war der Process zum Stillstand gekommen.

Die Menge des vorhandenen Alkalisalzes darf nach den Untersuchungen von *Warington* nur klein sein, weil sonst die Nitrification ernstlich gehindert wird. Natriumcarbonat beginnt bereits einen verzögernden Einfluss auf den Eintritt der Salpeterbildung auszuüben, wenn seine Menge 300 mgr pro Liter übersteigt. In Lösungen, welche pro Liter 1 gr des bezeichneten Salzes enthielten, war es unmöglich, Salpeterbildung hervorzurufen. Nach neueren Untersuchungen[2]) desselben Autors scheint das Natriumcarbonat überhaupt die Salpeterbildung zu hindern, während das Natriumbicarbonat einen sehr begünstigenden Einfluss selbst in Mengen von 1—4 gr pro Liter ausübt. Bei dem Ueberschreiten dieser Grenze ruft dasselbe aber eine retardirende Wirkung hervor, wie dies bei 6 gr pro Liter beobachtet wurde.

Für den geringen Einfluss des Natriumcarbonates auf den Nitrificationsprocess sprechen auch die Ergebnisse der Versuche von *F. Dumont* und *F. Crochetelle*[3]). Dagegen wiesen dieselben nach, dass das Kaliumcarbonat in gewissen Dosen die Bildung von Nitratstickstoff nicht unwesentlich zu fördern vermag. Sie operirten mit Erde von Avilly, welche seit undenklichen Zeiten Wiese ist und welche pro kg 420 gr

---

[1]) Journ. of the chem. Society. 1884. Vol. XLV. p. 637—682.

[2]) On Nitrification. Parl. IV. A report of experiments made in the Rothamsted laboratory. London. Harrison and Sons.

[3]) Comptes rendus. T. CXVII. Nr. 20. p. 670—673.

Kalk und 68,4 gr Humus, einschliesslich 11 gr organischen Stickstoff und 38,2 gr combinirten Kohlenstoff, enthält. Am 10. Mai wurden je 1 kg dieser Erde verschiedene Mengen Kaliumcarbonat hinzugefügt, die Bodenproben wurden gemischt und zu wiederholten Malen begossen. Einen Monat darauf wurde der Salpeterstickstoff bestimmt und erhielt man folgende Resultate:

Kaliumcarbonat pro kg:	0	1	2	3	4	5 gr
Nitratstickstoff pro 1000 gr	70	160	230	**250**	130	73 mgr,

während die Erde vor dem Versuch 60 mgr pro 1000 gr enthielt.

Im Monat Juli wurden neue Versuche angestellt, welche folgendes Resultat ergaben:

Kaliumcarbonat pro kg	0	1	2	2,5	3	4	5	6	8 gr
Nitratstickstoff pro 1000 gr	80	98	140	**160**	127	100	85	80	60 mgr.

Ein dritter Versuch wurde mit Erde von den Rändern eines Berieselungsgrabens von Gally angestellt, welche mit Säuren lebhaftes Aufbrausen erzeugt und an den Ufern eines Baches sich bildet, in welchen sich Rückstandswässer aller Art ergiessen. Sie enthält 28,7 combinirten Kohlenstoff oder 57,6 Humus pro kg.

In der Zeit vom 20. Juni bis 10. Juli wurden in 1000 gr Erde gebildet:

Kaliumcarbonat pro kg	0	1	1,5	2	2,5	3 gr
Nitratstickstoff pro 1000 gr	8	62	91	140	**180**	105 mgr.

Demgemäss wurde die Nitrification durch Zusatz kleiner Mengen von Kaliumcarbonat bis zu 2,5 pro 1000 befördert, während stärkere Dosen schädlich wirkten. Bei 8 pro Mille wurde die Salpeterbildung gehindert.

Die Gegenwart von Calcium- und Magnesiumcarbonat ist in allen Fällen von günstiger Wirkung auf den hier besprochenen Vorgang. Dagegen verhindert Ammoniumcarbonat im Ueberschuss denselben, wie *Warington* nachgewiesen hat. Die stärkste Lösung, in welcher Nitrification bisher begonnen, enthielt Ammoniumcarbonat, welches 368 mgr Stickstoff im Liter äquivalent war. Die schädliche Wirkung eines Ueberschusses von diesem Salze ist auch die Ursache, dass starke Harnlösungen nicht nitrificiren. Ueberhaupt ist die Gegenwart von Ammoniak und dessen Salzen ein Hinderniss der Bildung von Nitraten aus Nitriten. Diese Abneigung der Salpetersäure-Organismen gegen Ammoniak erklärt den Gang der Nitrification in verhältnissmässig starken Ammonsalzlösungen (1 gr pro Liter), welche mit einer geringen Menge Erde inficirt sind. In diesem Falle entstehen grosse Mengen von salpetriger Säure; Salpetersäure bildet sich erst dann, wenn die Menge des Ammoniaks beträchtlich vermindert ist.

Für den Verlauf des Verwesungsprocesses ist die Zufuhr von **Salzen** zu der organischen Substanz von wesentlichem Einfluss. Derselbe äussert sich in verschiedener Weise je nach Menge und Art des Salzes. Soweit hierüber Untersuchungen vorliegen, lässt sich über die betreffenden Wirkungen etwa Folgendes berichten:

Die Sulfate scheinen die Oxydation des Kohlenstoffs bei der Verwesung zu beschränken; wenigstens gilt dies von dem Calciumsulfat (Gips). Dies wurde bereits in den Versuchen von *E. Wolff*[1]) constatirt, welcher fand, dass nach Zusatz von 200 gr Gips pro Kubikfuss zu frischem Dünger nach 15 Monaten noch folgende (in

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. 1859. S. 141.

Procenten der ursprünglich vorhandenen) Mengen der einzelnen Stoffe vorhanden waren:

	ohne Zusatz.	mit Gips.
Feuchter Mist	48,8	47,6
Organische Substanz . . .	**33,8**	**40,0**
Stickstoff	67,6	77,5.

In einem mit einem Gemisch aus Quarzsand (300 gr), Torfpulver (5 gr) und Wasser (60 ccm) angestellten Versuch des Verfassers[1]) machten sich seitens des Gipses ebensolche Erscheinungen geltend, wie folgende Zahlen (Mittel aus je 8 Versuchen) darthun:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.

Zusatz:	Ohne.	Gips.	
		0,05 gr	0,1 gr
Kohlensäure:	**3,194**	**3,029**	**2,713.**

Die Beigabe von Gips hatte sonach den Verlust an organischer Substanz und auch an Stickstoff herabgedrückt und demnach einen hemmenden Einfluss auf die Verwesung ausgeübt.

Dagegen haben die Untersuchungen von *P. Pichard*[2]), *R. Warington*[3]), *F. Dumont* und *F. Crochetelle*[4]) nachgewiesen, dass die Sulfate auf die Nitrification einen sehr günstigen Einfluss ausüben.

Nach den Untersuchungen von *Pichard* scheinen die Sulfate des Calciums, Kaliums und Natriums ganz besonders befähigt zu sein, die Salpeterbildung zu fördern, und in dieser Hinsicht die Carbonate wesentlich zu übertreffen. Wurden einem Boden von jenen Sulfaten 0,5 % zugesetzt, so trat eine energische Nitrification ein, besonders auf Zusatz des Gipses. Bei Anwendung gleicher Gewichte von Salz und die Salpeter bildende Fähigkeit des Gipses gleich 100 gesetzt, stellte sich das Verhältniss der genannten Fähigkeit bei dem Versuchsboden und nachstehenden Salzen wie folgt:

Calciumsulfat	100,00
Natriumsulfat	47,91
Kaliumsulfat	35,78
Calciumcarbonat	13,32
Magnesiumcarbonat . . .	12,52.

Bei den klimatischen Verhältnissen des südlichen Frankreichs ist die Nitrification der organischen Substanzen in kalkigen und gegipsten Böden namentlich bedeutend während der Monate September und October. Es wurden in diesem Zeitraum nach den Versuchen *Pichard*'s

in gekalktem Boden 26,2 % } des Gesammtstickstoffs
in gegipstem Boden 46,3 „ }

nitrificirt.

---

[1]) Journ. f. Landw. 1886. S. 263.

[2]) Comptes rendus. T. XCVIII. Nr. 20. p. 1289. — T. CXIV. p. 490. — Annales agronomiques. T. X. p. 302. — T. XV. p. 505. — T. XVIII. p. 337.

[3]) Annales agronomiques. T. XI. p. 557.

[4]) Comptes rendus. T. CXVII. p. 670.

Die Wirkung des Gipses in der geschilderten Weise macht sich nur in gut durchlüfteten Böden geltend, während dieselbe in solchen Böden, in welchen der Zutritt der Luft ein mangelhafter ist, oder welche grössere Mengen saurer Humussubstanzen enthalten, ausbleibt, weil unter derartigen Umständen eine schnelle Desoxydation des Kalksulfates eintritt, die Bildung von Schwefelcalcium und selbst von Schwefelwasserstoff, welche beide die Nitrification verhindern. Diese Erscheinungen können unter den beschriebenen Verhältnissen jedoch beseitigt werden, wenn dem Boden neben dem Gips Kalkcarbonat zugeführt und demselben eine gründliche Lockerung zu Theil wird.

Den diesbezüglichen Untersuchungen von *Warington* ist zu entnehmen, dass der Gips die oben geschilderte nachtheilige Wirkung des Ammoniumcarbonates auf die Nitrification beseitigt. In den mit Gips versetzten Urinlösungen verschwand letzterer allmählich und lagerten sich statt dessen krystallinische Massen, vermuthlich aus kohlensaurem Kalk bestehend, an den Gefässwänden ab. In dem Maasse aber, als die Salpeterbildung fortschritt, verschwanden auch diese Ablagerungen wieder.

Die Versuche von *F. Dumont* und *F. Crochetelle* machen es zur Gewissheit, dass das Kaliumsulfat in gewissen Mengen der Salpeterbildung in höherem Grade Vorschub leistet als das Kaliumcarbonat (S. 135). Es wurden nämlich an Salpeterstickstoff pro 1000 gr Erde (von Avilly) in einem Monat gebildet bei einem Zusatz von

	0	1	2	2,5	3	4	5	6	8 gr
Kaliumcarbonat:	80	98	140	160	127	100	85	80	60 mgr
Kaliumsulfat:	80	150	180	220	260	240	270	340	350 mgr.

In Erde von Gally wurde vom 20. Juni bis 10. Juli in 1000 gr an Nitratstickstoff gebildet bei einer Menge von

	0	2	5	8 gr
Kaliumsulfat:	78	420	**456**	300 mgr.

Das Kaliumsulfat hatte mithin in gewissen Dosen die Salpeterbildung in ausserordentlichem Grade gefördert, dieselbe aber bei Anwendung grösserer Mengen des Salzes herabgedrückt.

Dieser Einfluss variirt, wie die genannten Forscher gezeigt haben, je nach den vorhandenen Humusmengen, wie aus folgenden Zahlen ersichtlich ist:

Nitratstickstoff in 15 Tagen in 1000 gr Erde gebildet:

	Erde mit 29 gr Humus pro kg		Erde mit 10,8 gr Humus pro kg	
Ohne Zugabe	39 mgr	(Ueberschuss:)	28 mgr	(Ueberschuss:)
Mit Kaliumcarbonat	68 „	29 mgr	32 „	4
„ Kaliumsulfat	80 „	41 „	46 „	18.

Es folgt hieraus, dass der durch den Zusatz von Kalisalzen erzeugte Ueberschuss von Salpeterstickstoff sich in dem Maasse verringert, als die Böden ärmer an Humus sind.

Das Ferrosulfat (schwefelsaures Eisenoxydul) übt, so lange dasselbe keine Gelegenheit zur Oxydation findet, nach *P. Pichard*[1]) einen ähnlichen Einfluss auf die Nitrification aus wie der Gips, jedoch in geringerem Grade. Dagegen hindert es im Boden, welcher der Luft zugänglich ist, die Salpeterbildung, wie aus dem Umstande zu schliessen ist, dass die Menge der in der Erde enthaltenen Nitrate

[1]) Comptes rendus. T. CXII. 1891. p. 1455.

in einem umgekehrten Verhältniss zu der Menge des vorhandenen Eisenvitriols steht. So fand z. B. *M. Maercker*[1]) bei Untersuchung von Moorböden:

	in 100 Theilen trockener Erde	
	Salpetersäure	lösliches Eisen
dauernd culturfähig	0,0956	0
nicht „	0	1,349
früher „	0,0088	0,298.

Die aus diesen Zahlen sich ergebende schädliche Wirkung des Eisensulfates auf die Nitrification beruht hauptsächlich darauf, dass es den Sauerstoff der umgebenden Luft energisch an sich zieht und sich hierbei in Oxydsalz verwandelt.

Die Phosphate üben sowohl auf die Oxydation des Kohlenstoffs als auch auf die Salpeterbildung im Allgemeinen eine günstige Wirkung aus, doch verzögern sie diese Vorgänge, sobald sie in löslicher Form in gewissen grösseren Mengen vorhanden sind.

Die Chloride besitzen bekanntlich ausgesprochen antiputride und antizymische Eigenschaften, weshalb es nicht Wunder nehmen kann, dass dieselben schon in geringen Quantitäten die Thätigkeit der bei den Zersetzungsvorgängen betheiligten Organismen beeinträchtigen. Der Nachweis, dass die Beigabe von Chlornatrium die Oxydation des Kohlenstoffs wesentlich vermindert, wurde zunächst vom Verfasser[2]) geliefert. Derselbe setzte ein Gemisch von 400 gr Quarzsand und 2 gr Pferdedüngerpulver, welches mit 40 ccm destillirtem Wasser und Kochsalzlösungen von verschiedener Concentration angefeuchtet war, der Verwesung aus und bestimmte die jeweils in einem Zeitraum von 24 Stunden entwickelten Kohlensäuremengen (im Mittel von je 9 Versuchen) wie folgt:

	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.					
Zusatz:	Ohne.	Kochsalzlösung.				
Concentration der Lösung:	—	0,5 %	1 %	5 %	10 %	20 %
(In Proc. des Bodens:)	—	(0,05)	(0,10)	(0,50)	(1,0)	(2,0)
Kohlensäure:	**17,288**	**15,316**	**10,737**	**8,237**	**6,174**	**1,753.**

Hiernach kann angenommen werden, dass das Kochsalz bereits in geringen Mengen die Oxydation des Kohlenstoffs herabsetzt und dass diese Wirkung in dem Grade zunimmt, je grösser der Salzgehalt der Masse resp. der Lösung ist.

Hinsichtlich des Einflusses des Kochsalzes auf die Nitrification fand *P. P. Dehérain*[3]) — welcher mit Erde operirte, der auf 100 gr wechselnde Mengen dieses Salzes von 0,1—2 gr zugesetzt waren —, dass kleinere Beigaben ohne schädlichen Einfluss waren und dass bei grösseren ein solcher um so mehr hervortrat, je länger der Versuch dauerte. Bei 0,5 gr Kochsalz auf 100 gr Erde und darüber hörte überhaupt die Nitrification auf.

Weniger ungünstig scheint das Chlorkalium einzuwirken, insofern dasselbe nach den Untersuchungen von *F. Dumont* und *F. Crochetelle*[4]) in geringen Dosen die Salpeterbildung fördert, jedoch, wie folgende Zahlen darthun, in einem nur schwachen

[1]) Zeitschrift des landw. Centralvereins für die Provinz Sachsen. 1874. Nr. 2 u. 3. S. 70.
[2]) Journ. f. Landw. 1886. S. 271.
[3]) Annales agronomiques. T. XIV. 1888. Nr. 7. p. 289—320.
[4]) Comptes rendus. T. CXVII. Nr. 20. p. 670—673.

und ungleich geringeren Grade als die Sulfate und Carbonate. Die Menge des in einem Monat in 1000 gr Erde von Avilly gebildeten Salpeterstickstoffs betrug bei einem Zusatz von

	0	1	2	2,5	3	4	5	6	8 gr
Kaliumchlorid	80	75	78	100	100	78	80	78	— mgr
Kaliumcarbonat	80	98	140	160	127	100	85	80	60 „
Kaliumsulfat	80	150	180	220	260	240	270	340	350 „

In humusreicher Erde hatten sich bei einem Zusatz von 2 Tausendsteln der betreffenden Salze in 15 Tagen pro 1000 gr Erde folgende Nitrat-Stickstoffmengen gebildet:

	Ohne Zugabe.	Kaliumchlorid.	Kaliumcarbonat.	Kaliumsulfat.
Nitratstickstoff	39	57	68	80 mgr.

Das Chlorkalium besitzt hiernach nur eine mittelmässige Wirkung auf die Nitrification.

Die Gegenwart von **Nitraten** in der verwesenden Substanz machte sich in einem Versuche des Verfassers [1]), in welchem ein Gemisch von 400 gr Quarzsand und 2 gr Pferdedüngerpulver, angefeuchtet mit 40 ccm Wasser oder verschieden concentrirter Salpeterlösung, verwendet wurde, in folgender Weise geltend:

Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft [2]).

Zusatz:	Wasser	Natriumnitratlösung.				
Concentration der Lösung:	—	0,5 %	1 %	5 %	10 %	20 %
(In Proc. des Bodens:)	—	(0,05)	(0,10)	(0,50)	(1,0)	(2,0)
Kohlensäure:	**16,366**	**18,041**	**17,131**	**10,245**	**6,821**	**4,452.**

Aus diesen Daten kann gefolgert werden, dass schwache Lösungen von Salpeter der Oxydation des Kohlenstoffs Vorschub leisten, während höher concentrirte, und zwar in dem Grade ihres Salzgehaltes, fraglichen Vorgang bedeutend einschränken.

Zur Prüfung des Einflusses der Nitrate auf die Nitrification wurde von *P. P. Dehérain* [3]) Erde, welche 2,61 gr Stickstoff pro kg enthielt, ohne und mit Zusatz von Natronsalpeter in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre aufbewahrt und in gewissen Zeitintervallen auf ihren Salpetergehalt untersucht. Die Resultate giebt folgende Tabelle:

Nach Tagen	Nitratstickstoff pro 1000 kg gebildet: Ohne Zusatz.	mit 0,06 gr Natriumnitrat pro 100 gr Erde.	mit 0,6 gr Natriumnitrat pro 100 gr Erde.
31	1,32 gr	0,00 gr	0,33 gr
39	1,27 „	0,33 „	0,00 „
70	1,48 „	0,75 „	0,58 „
105	0,63 „	0,80 „	0,44 „

Aus diesen Resultaten kann geschlossen werden, dass eine grössere Menge fertig gebildeter Nitrate der Salpeterbildung anfangs hinderlich sein, dass aber, wie der mit 0,06 gr Nitrat angestellte Versuch deutlich zeigt, eine allmähliche Gewöhnung des Nitrificationsfermentes an die neuen Bedingungen eintreten kann.

---

[1]) Journ. f. Landwirthschaft. 1886. S. 270.

[2]) Mittel aus je 7 Versuchen.

[3]) a. a. O.

Im Anschluss an letztere Mittheilung kann füglich, der Vollständigkeit wegen, hier gleich der Thatsache Erwähnung geschehen, dass dem Boden zugefügte Ammonsalze mit wachsender Menge die Ammoniakbildung in entsprechender Weise beeinträchtigen, wie aus verschiedenen Versuchen von *A. Hébert*[1]) zu schliessen ist. Von diesen möge folgender hier eine Stelle finden:

	Ammoniakstickstoff (mgr). Am Anfang des Versuches.	Am Ende des Versuches.	Differenz.
Erde unverändert	2,90	12,94	+ 10,04
„ + 0,010 gr Ammonsulfat	4,09	13,33	+ 9,24
„ + 0,020 „ „	5,46	14,38	+ 8,92
„ + 0,050 „ „	11,54	19,77	+ 8,23
„ + 0,100 „ „	23,18	26,65	+ 3,47
„ + 0,150 „ „	27,65	29,84	+ 2,19
„ + 0,200 „ „	39,80	38,99	— 0,81.

Diese Daten lassen deutlich erkennen, dass sich die Production von Ammoniakstickstoff mit der Menge des zugeführten Ammonsalzes vermindert und dass bei einer gewissen Grenze die Ammoniakbildung aufhört.

Bei Zusammenfassung der in diesem Abschnitt aufgeführten Gesetzmässigkeiten lassen sich, abgesehen von Details, folgende Sätze aufstellen:

1) Mineralsäuren, sowie höher concentrirte Salzlösungen beeinträchtigen die bei der Verwesung stattfindenden Stoffumwandlungen (Kohlensäureentwickelung, Ammoniak- und Salpeterbildung) und zwar um so mehr, je grösser die zugeführten Mengen der betreffenden Substanzen sind.

2) Schwache Alkalinität der organischen Substanz befördert die Oxydation sowohl des Kohlenstoffs als auch des Stickstoffs.

3) Für die Salpeterbildung ist die Gegenwart von Basen und Verbindungen von basischem Charakter (Alkalien, Alkalicarbonate — diese in geringen Mengen —, besonders alkalische Erden und deren Carbonate) innerhalb gewisser Grenzen unerlässlich.

4) Die Oxydation des Kohlenstoffs bei der Verwesung wird durch Zufuhr von Chloriden und Sulfaten vermindert, dagegen durch solche von Phosphaten und Nitraten gefördert, vorausgesetzt, dass die Concentration der Lösung nicht die für jedes Salz eigenthümliche Grenze überschreitet, bei welcher eine schädliche Wirkung hervortritt.

5) Der Salpeterbildung wird durch Beigaben von Sulfaten und Phosphaten in geringen Dosen Vorschub geleistet, während Chloride, besonders Natriumchlorid, unter derartigen Umständen diesen Process beeinträchtigen.

2. Die Bedingungen der Fäulniss (Putrefactio).

Naturgemäss ist die Existenz und die Thätigkeit der die Fäulniss unterhaltenden Mikroben an gewisse äussere Bedingungen geknüpft, durch deren Aenderungen die mannigfachen wechselvollen Erscheinungen in den bezüglichen Processen hervor-

[1]) Annales agronomiques. T. XV. 1889. p. 355—369.

gerufen werden. Zunächst käme der Bedarf an Sauerstoff in Betracht. Die hier in Rede stehenden Organismen, welche den eigentlichen Anaërobionten zuzuzählen sind, wie z. B. Bacillus butyricus, gedeihen bei guter Ernährung ohne Sauerstoff; freier Luftzutritt setzt ihre Vegetation auf ein Minimum oder Null herab. Doch scheinen einige Formen nur dann existiren zu können, wenn ihnen hin und wieder Sauerstoff zur Verfügung gestellt wird. Bemerkenswerth ist auch die Beobachtung *Nencki*'s und *Nägeli*'s, dass gährungserregende Bacterien ohne Sauerstoff ausgiebig wachsen, wenn sie in einer geeigneten, für sie gährungsfähigen Flüssigkeit sich befinden, dass dieselben aber nur bei Sauerstoffzutritt zu wachsen vermögen, wenn ihnen eine minder günstige Flüssigkeit zur Verfügung steht.

Da jeder Vegetationsprocess von der Temperatur der umgebenden Medien abhängig ist, so ist auch derjenige der Fäulnissbacterien in analoger Weise, wie dies oben bei den Verwesungsorganismen dargethan wurde, in seinem Verlauf wesentlich von den Wärmeverhältnissen mitbeherrscht. Nach den vorliegenden Daten haben die betreffenden Organismen bei günstiger Ernährung in fraglicher Hinsicht einen weiten Spielraum und ein gleich hoch gelegenes Optimum der Wachsthumstemperatur. Bacterium Termo wächst z. B. zwischen 5 und 40°; das Optimum liegt bei 30—35° C. Bacillus butyricus hat nach *Fitz* das Optimum bei 40, das Maximum bei 45° C. Die Temperaturen für die Keimung scheinen höher als das angegebene Minimum zu liegen, wenigstens bei einigen Arten.

„Ueberschreitung der Vegetationstemperaturgrenzen zunächst nach unten wird jedenfalls von einer Anzahl Bacterien in so weitgehendem Maasse ohne Zerstörung des Lebens ertragen, dass man in Rücksicht auf die in Wirklichkeit vorkommenden Erscheinungen von unbegrenzt reden darf. Die obere Tödtungstemperatur ist für die vegetativen Zellen der meisten Formen ungefähr die gleiche wie für die meisten anderen vegetirenden Pflanzenzellen, nämlich 50—60° C. Einige derselben erhalten sich jedoch auch bei Temperaturen, welche über 100° C. gelegen sind." *(de Bary.)*

Von nicht minderem Belang, wie vorstehend charakterisirte Bedingungen, ist die chemische und physikalische Beschaffenheit des Nährbodens für das Auftreten der verschiedenen Arten und deren Wachsthumsverhältnisse, wie dies aus einer Reihe von Beobachtungen geschlossen werden darf. Nähere Angaben über die speciellen Verhältnisse der bezüglichen Organismen stehen zur Zeit noch aus, weshalb die bezeichneten Andeutungen an dieser Stelle genügen mögen [1]).

3. Die Bedingungen anderweitiger Zersetzungsvorgänge.

In gleicher Weise wie die Verwesung und Fäulniss sind die übrigen etwa in Betracht kommenden Gährungserscheinungen bei dem Zerfall organischer Substanzen in ihrem Verlauf von äusseren Einflüssen beherrscht, so besonders von dem Sauerstoffzutritt, der Temperatur, der Feuchtigkeit, der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Substrates. Welcher Art die betreffenden Wirkungen im concreten sind, ist von den Lebensbedingungen der jeweils betheiligten Organismen abhängig und lässt sich nach den Ausführungen im VI. Capitel annähernd ermessen.

In Bezug auf die in landwirthschaftlicher Hinsicht wichtige Ammoniakgährung des Harnstoffs haben zunächst die Versuche von *A. Ladureau* [2]) ergeben, dass

[1]) Im Uebrigen sind die Ausführungen im VI. Capitel zu vergleichen.

[2]) Comptes rendus. T. XCIX. 1884. p. 877. — Annales agronomiques. T. XI. 1885. p. 272 u. 522.

dieser Vorgang sowohl bei Luft- und Sauerstoffzutritt, als auch bei Gegenwart von Stickstoff, Wasserstoff, Stickoxydul und Kohlensäure stattfindet, dass derselbe aber in letzteren Fällen, besonders unter dem Einfluss von Wasserstoff und Kohlensäure abgeschwächt wird, wie folgende Zahlen darthun:

Eingeführtes Gas	Ammoniak nach 20 Tagen	40 Tagen
Luft	8,77 gr	10,23 gr
Sauerstoff	2,79 „	8,99 „
Stickstoff	8,13 „	9,19 „
Wasserstoff . . .	3,76 „	6,68 „
Stickoxydul . . .	7,60 „	9,12 „
Kohlensäure . . .	0,97 „	5,94 „

Im Uebrigen fand *Ladureau*, dass durch einen Zusatz von Phosphorsäure, Monocalciumphosphat und Aetzkalk zu einer Flüssigkeit, welche 2% Harnstoff enthielt, die Ammoniakgährung, entsprechend der Menge der angewendeten Substanz, eine Abnahme erfuhr.

In den neuerdings von *A. Müller* [1]) angestellten Versuchen wurde Harn von einem gesunden Manne bei regelmässig kräftiger Kost und reichlichem Wassergenuss, sowohl im frischen wie im vergohrenen Zustande, in verschiedener Verdünnung, mit und ohne Zusätze [2]) verwendet. Verschiedene Versuche wurden dann mit kohlensaurem Ammoniak wiederholt.

Von den wichtigsten Resultaten ist zunächst das anzuführen, dass für die Energie der Harngährung die Reaction der Flüssigkeit, ob sauer oder alkalisch, entscheidend ist. Basische Zusätze, mit Ausnahme concentrirter Aetzlaugen, wirken förderlich, sauere in weit höherem Grade hinderlich. In dieser Beziehung verhalten sich demnach die betreffenden niederen Organismen analog den bei den Oxydationsprocessen der organischen Substanzen betheiligten.

4. Die Gesammterscheinungen bei der Zersetzung organischer Stoffe.

Aus den bisherigen Betrachtungen und mitgetheilten Versuchsergebnissen lässt sich ersehen, dass das Auftreten und die Thätigkeit der die verschiedenen Zersetzungsprocesse hervorrufenden verschiedenen Arten niederer Organismen an gewisse Bedingungen geknüpft sind. Es wurde gezeigt, dass für die beiden in landwirthschaftlicher und hygienischer Beziehung wichtigsten Vorgänge, Verwesung und Fäulniss, vornehmlich die verfügbare Luftmenge maassgebend ist. So lange der Sauerstoff bis zu einer gewissen Grenze freien Zutritt zu der organischen Substanz hat, treten bei der Zersetzung Oxydationsvorgänge (Verwesung), bei beschränkter Zufuhr der Luft oder bei Abschluss derselben Reductionsvorgänge (Fäulniss) in die Erscheinung.

Hinsichtlich der Bedingungen, an welche die einzelnen Vorgänge geknüpft sind, ergiebt sich im Uebrigen aus obigen Darlegungen das Gesetz, dass die Functionen der bei den Zersetzungsprocessen der organischen Substanzen betheiligten niederen Organismen beschleunigt werden in dem Grade, als die Intensität der einzelnen maassgebenden Factoren, von einer unteren Grenze (Minimum) anfangend, steigt, bis bei einer bestimmten höheren

[1]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XXXII. 1885. S. 271.

[2]) Die Menge der dem Harn zugeführten Substanzen betrug 0,25 bis 0,63 pro 100 ccm.

Grenze (Optimum) das Maximum der Leistung der Function eintritt, dass letztere aber bei weiterer Steigerung der Wirkung des betreffenden Factors wieder abnimmt, bis schliesslich ein Stillstand (Maximum) oder in Folge des massenhafteren Auftretens von anderen, durch die geänderten Lebensbedingungen in ihrer Vermehrung und Thätigkeit geförderten Organismen der Zersetzungsprocess einen, von dem vorigen wesentlich verschiedenen Charakter annimmt.

Der Gang der Einwirkung irgend eines ausschlaggebenden Factors bei einem und demselben Zersetzungsprocess ergiebt sonach eine auf- und absteigende Curve, welche sich zur Darstellung bringen lässt, wenn man in ein Coordinatensystem die Intensität der Factoren einerseits (Abscisse) und die zugehörigen Wirkungen derselben (Ordinate) andererseits einträgt. Zur Illustration möge die Nitrification in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur dienen. Wie oben gezeigt, liegen nach *Schlösing* die äussersten Grenzen zwischen 5 und 55° C., das Optimum erreicht der Process bei 37° C. Dementsprechend erhält man in der angegebenen Weise die aus Fig. 44 ersichtliche Curve. Für die übrigen Processe und Factoren ergeben sich analoge Figuren, mit dem einzigen Unterschiede, dass in Folge der Ungleichheit der bezüglichen Grenzwerthe Verschiebungen der Curve nach der einen oder anderen Richtung hin stattfinden.

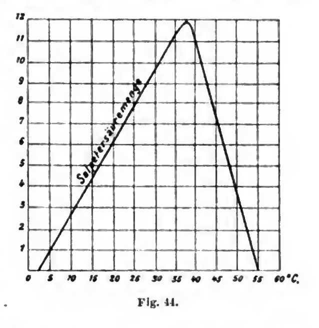


Fig. 44.

Aus solchen wie den vorstehend entwickelten Thatsachen geht zur Evidenz hervor, dass die Gesetze, welche für die Lebenserscheinungen der höheren Pflanzen ermittelt worden sind, in gleicher Weise für jene der niederen Organismen Giltigkeit haben. Weiters wird aber hieraus gefolgert werden müssen, dass die maassgebenden Factoren, wenn sie in gleicher Richtung ihren Einfluss geltend machen, sich unterstützen werden, und dass die Thätigkeit der Organismen dann ihren Höhepunkt erreichen wird, wenn alle äusseren Bedingungen in dem vortheilhaftesten Verhältniss vorhanden sind. Bei gleicher Menge der organischen Substanzen wird demnach z. B. die Verwesung um so intensiver verlaufen, je günstiger die Wärme und die Feuchtigkeit einzuwirken vermögen. Folgender vom Verfasser angestellter Versuch zeigt dies mit voller Deutlichkeit

Wassergehalt des Bodens (Composterde)	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.				
	Bodentemperatur				
	10° C.	20° C.	30° C.	40° C.	50° C.
6,79 %	2,03	3,22	6,86	14,69	25,17
26,79 „	18,38	54,24	63,50	80,06	81,52
46,79 „	35,07	61,49	82,12	91,86	97,48

Unter natürlichen Verhältnissen machen sich indessen die Wirkungen der verschiedenen Factoren seltener in derselben, sondern in der Mehrzahl der Fälle in

entgegengesetzter Richtung geltend, wodurch der Effect in mannigfachen Modificationen in die Erscheinung tritt. So kann z. B. der Einfluss der Temperatur unter Umständen beeinträchtigt und aufgehoben werden, wenn nicht genügende Mengen von Wasser im Material vorhanden sind und umgekehrt. Ein sehr lehrreiches Beispiel dieser Art liefert folgender vom Verfasser ausgeführter Versuch:

Composterde.	Vol. Kohlensäure in 1000 Vol. Bodenluft.				
Temperatur:	10° C.	20° C.	30° C.	40° C.	50° C.
Wassergehalt:	46,8%	36,8%	26,8%	16,8%	6,8%
Kohlensäure:	**33,18**	**62,27**	**73,23**	**66,83**	**14,42.**

Die höheren Temperaturen (40 und 50° C.) konnten also nicht zur vollen Wirkung gelangen, weil das Wasser im Boden in unzureichenden Mengen vorhanden war. Ebenso wenig konnten sich die günstigeren Feuchtigkeitsverhältnisse (46,8 und 36,8%) der Verwesung förderlich erweisen wegen der gleichzeitig herrschenden ungünstigen Temperatur. Diese Gesetzmässigkeiten werden besonders durch die graphische Darstellung in Fig. 45, welche wohl keines Commentars mehr bedarf, veranschaulicht.

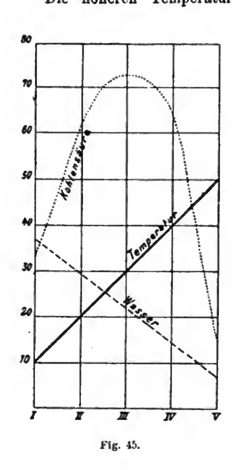


Fig. 45.

In gleicher Weise wie Wasser und Temperatur verhalten sich, wie nach den früheren Mittheilungen nicht bezweifelt werden kann, die übrigen die Thätigkeit der Mikroorganismen beherrschenden Factoren. Daraus folgt das für die Beurtheilung der Vorgänge bei dem Zerfall der organischen Stoffe wichtige Gesetz,

dass die Zersetzungsprocesse der organischen Substanzen in Quantität und Qualität von dem im Minimum resp. im Maximum auftretenden Factor beherrscht werden.

Dieses Gesetz erleichtert einerseits wesentlich das Verständniss für den eigenthümlichen Verlauf der in der Natur sich abspielenden äusserst complicirten Processe (Capitel VIII) und ermöglicht andererseits in Bezug auf die zur Regulirung derselben in Anwendung zu bringenden Maassnahmen die Aufstellung einer ganzen Reihe praktischer Gesichtspunkte (Abschnitt III).

VIII. Die Zersetzung der organischen Stoffe in der Natur.

1. Klima und Witterung.

Der Umstand, dass zwei für die Zersetzung der organischen Stoffe wichtige Factoren, wie Temperatur und Feuchtigkeit, je nach dem durchschnittlichen und dem zeitlichen Gange der meteorologischen Elemente (Klima resp. Witterung) in grösserer oder geringerer Intensität und in stets wechselvoller Weise ihren Einfluss geltend machen, lässt es erklärlich erscheinen, dass fragliche Processe an den verschiedenen Oertlichkeiten der Erdoberfläche einen ausserordentlich verschiedenen Verlauf zeigen.

Abgesehen von örtlichen Einwirkungen lässt sich zunächst constatiren, dass die Abnahme der Temperatur vom Aequator nach den Polen, sowie jene von der Ebene nach der Höhe mit einer entsprechenden Verminderung der Intensität der Zersetzungsvorgänge verknüpft ist und dass demzufolge die Anhäufung organischer im Zerfall begriffener Stoffe im Allgemeinen in nördlichen und höher gelegenen Orten in grösserem Umfange erfolgt als in südlichen und tiefer gelegenen. Diese Unterschiede wachsen mit der Niederschlagsmenge, weil in warmen Gegenden mit der Durchfeuchtung der organischen Stoffe deren Zerfall beschleunigt wird und in kälteren Lagen in Folge der verminderten Verdunstung der Ansammlung grösserer die Zersetzung verzögernder Wassermengen Vorschub geleistet wird.

In zweiter Linie sind die Wirkungen des Klimas auf die hier in Rede stehenden Processe bedingt durch die örtliche Vertheilung der beiden bezeichneten Factoren. In Gegenden, in welchen die Niederschläge ergiebig und derart vertheilt sind, dass die Feuchtigkeitsmengen geringeren Schwankungen unterliegen als die Temperatur, ist letztere in der Regel der maassgebendste Factor für den Gang des Zersetzungsprocesses der organischen Stoffe. Dies wurde für verschiedene Oertlichkeiten durch Bestimmung des Gehaltes der Bodenluft an freier Kohlensäure nachgewiesen, deren Menge unter sonst gleichen Verhältnissen als Maassstab für die Intensität des Zerfalls der organischen Substanzen dienen kann. Zur Illustration dieser Verhältnisse seien folgende Daten aus den dreijährigen Untersuchungen von *H. Fleck* [1]) in Dresden hier angeführt.

Kohlensäure- und Temperaturbestimmungen im Boden.
(Temperatur in °C. Kohlensäure in Volumpromille.)

	In 2 m Tiefe.					
	1873		1874		1875	
	Temp.	Kohlens.	Temp.	Kohlens.	Temp.	Kohlens.
Januar	6,88	7,1	5,75	11,4	5,60	14,6
Februar	5,30	**7,0**	**4,82**	**10,1**	4,63	11,4
März	**5,29**	8,7	5,11	10,2	**3,56**	**9,1**
April	10,19	14,5	7,61	14,3	5,89	13,6
Mai	10,07	18,8	9,66	14,2	9,54	21,8
Juni	13,28	28,4	14,70	26,1	10,98	32,6
Juli	16,18	**44,3**	17,41	37,5	16,62	36,6
August	**18,09**	43,5	**17,66**	**37,7**	**17,88**	**48,3**
September	17,41	41,4	16,63	36,6	17,30	44,3
October	14,84	39,8	15,67	32,0	14,40	32,4
November	11,12	20,1	10,55	19,0	10,06	24,0
December	8,01	19,3	7,28	15,2	6,30	14,2

Im Allgemeinen zeigen diese Zahlen, dass die Kohlensäuremengen in der Bodenluft mit der Bodentemperatur steigen und fallen und dass demgemäss zur Zeit des Maximums der Bodentemperatur die vom Boden eingeschlossene Luft am reichsten, zur Zeit des Temperaturminimums am ärmsten an Kohlensäure ist.

[1]) Zweiter Jahresbericht der chemischen Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege in Dresden. 1873. S. 15—49; 1874. S. 3—24.

Zu ganz ähnlichen Resultaten führten die auf Veranlassung von *M. von Pettenkofer*[1]) über den Kohlensäuregehalt im Geröllboden von München angestellten Untersuchungen. In Rücksicht auf die annähernde Uebereinstimmung der klimatischen Verhältnisse eines grossen Theils der Länder Mittteleuropas wird angenommen werden dürfen, dass auch in diesen die Menge der freien Kohlensäure im Boden, d. h. also der Grad der Zersetzung der organischen Stoffe, vom Frühjahr zum Sommer bedeutend zu-, im Herbst und weiter im Winter stetig abnehmen wird. Dies wird um so eher erwartet werden können, als die betreffenden Oertlichkeiten in der Region der Sommerregenperiode gelegen sind, und sonach mit der höchsten Temperatur die ergiebigste Durchfeuchtung der organischen Stoffe zusammenfällt.

In Ländern, in welchen die Temperatur eine grössere Gleichmässigkeit besitzt, während die Niederschläge erheblicheren Schwankungen unterworfen sind, zeigt sich die Wasserzufuhr von maassgebendster Bedeutung für den Zerfall der organischen Stoffe. Dies ist besonders in Gegenden der heissen Zone zu beobachten, in welchen Perioden andauernder Trockenheit mit solchen ergiebiger Niederschläge abwechseln. Während ersterer kommt die höhere Temperatur den Zersetzungsprocessen nicht zu Gute, weil der Feuchtigkeitsgehalt in den Materialien in Folge starker Verdunstung unzureichend ist; erst wenn dieselben bei dem Eintritt der Regenperiode sich wieder anfeuchten, steigt die Zersetzung der organischen Stoffe bis zu einer gewissen Grenze, um nach dem Aufhören der Niederschläge wieder abzunehmen. Diese Wirkungen treten deutlich in den Kohlensäuremengen des Bodens in die Erscheinung. So zeigte sich z. B. nach den von *T. R. Lewis* und *D. D. Cunningham*[2]) in Indien (Calcutta) angestellten Beobachtungen, dass dort der Gehalt des Bodens an freier Kohlensäure mit der Regenmenge parallel geht. Zur Zeit der grössten Niederschlagsmenge fand man in ausgesprochenstem Maasse in 3 Fuss Tiefe eine Vermehrung der Kohlensäure zum Maximum, von dem sie nach dem Aufhören des Regens zum Minimum herabging.

Aehnliche Unterschiede, wie die hier geschilderten, lassen sich auch in anderen Ländern und Klimaten wahrnehmen. So ist z. B. das nördliche Italien, speciell die lombardisch-venetianische Tiefebene, durch grössere Niederschläge und verhältnissmässig erhebliche Temperaturschwankungen ausgezeichnet, während im Süden, besonders in Sicilien, die Niederschläge spärlich sind, dafür aber eine höhere, mehr oder weniger gleichmässige Temperatur herrscht[3]). Es wird daher auf Grund der in Mitteleuropa und Indien angestellten Beobachtungen a priori angenommen werden dürfen, dass im Norden Italiens die Zersetzungsprocesse der organischen Stoffe vornehmlich von dem Gange der Temperatur, im Süden von demjenigen der Feuchtigkeit abhängig sein werden. Gleiche Unterschiede werden sich in Bezug auf die in Rede stehenden Verhältnisse zwischen dem feuchten Insel-, Küsten- und Seeklima einerseits und dem trockenen Continentalklima andererseits geltend machen.

Die geschilderten Wechselwirkungen zwischen Temperatur und Feuchtigkeit treten natürlich auch in kürzeren Zeitabschnitten in die Erscheinnng, so dass an einer bestimmten Localität der Einfluss der Witterung mehr oder weniger deutlich sich

[1]) Zeitschrift für Biologie. Bd. VII. 1871. S. 395—417. — Bd. IX. 1873. S. 250—257. — Ferner *G. Wolffhügel.* Ibid. Bd. XV. 1879. S. 98—114.

[2]) Eleventh annual report of the sanitary commission with the government of India. 1874.

[3]) *C. Ferrari.* Annali di agricoltura. 1883. Roma. 1884.

ausprägt. Diese Beeinflussung der organischen Processe unter concreten Verhältnissen ist in jedem Fall, wie aus den angeführten Beispielen zur Genüge hervorgeht, nach dem oben entwickelten allgemeinen Gesetz des Minimums und des Maximums geregelt und lässt sich hiernach unter Berücksichtigung der jeweiligen äusseren Bedingungen der Zersetzung, ohne dass es einer besonderen Versuchsanstellung bedarf, annähernd ermessen. Ein vollständiger Einblick in die äusserst complicirten Vorgänge wird allerdings erst dann genommen werden können, wenn gewisse locale, für die Beschaffenheit des dem Zerfall unterliegenden Materials maassgebende Einflüsse, wie solche in folgenden Abschnitten dargelegt werden sollen, mit in Betracht gezogen werden.

2. Der Boden.

Der Verlauf der Vorgänge, welche im Boden bei der Zersetzung der organischen Substanzen stattfinden, ist, soweit nicht die Wirkungen des Klimas und der Witterung dabei eine Rolle spielen, wesentlich von den physikalischen Eigenschaften des Erdreiches beherrscht und zwar insofern, als diese für die Erwärmung, die Durchfeuchtung und die Durchlüftung der Masse bestimmend sind. Welcher Art diese bedeutsamen, besonders für die Bodencultur wichtigen Einflüsse sind, soll in Folgendem in Kürze darzulegen versucht werden.

Die Lage des Bodens gegen die Himmelsrichtung (Exposition), von welcher hier zunächst ausgegangen werden mag, ist unter übrigens gleichen Umständen für die Feuchtigkeit und Temperatur des Erdreiches und damit gleichzeitig für die in diesem sich abspielenden organischen Processe von grosser Bedeutung. Hinsichtlich des ersteren Punktes haben die bezüglichen Versuche[1]) des Verfassers den Nachweis geliefert, dass die Nordhänge am feuchtesten sind, dann folgt die Westseite, hierauf die Ostseite, während die Südabdachung am trockensten ist. Dies geht deutlich aus folgenden Zahlen hervor, welche bei Trocknung von Erdproben eines mit Mais bestandenen Bodens gewonnen wurden:

	Wassergehalt des Bodens bis zu 20 cm Tiefe. (Neigung der Fläche 15°.)			
	Nord.	Süd.	Ost.	West.
Mittel aus je 14 Bestimmungen:	**19,13 %**	**16,24 %**	**17,96 %**	**18,67 %.**

In gleicher Weise wie die Feuchtigkeit wird die Temperatur eines und desselben Bodens durch die Exposition abgeändert und zwar derart, dass der südliche Hang am wärmsten ist, dann folgen die Ost- und Westseite, während die Nordexposition die niedrigste Temperatur zeigt. Diese Gesetzmässigkeiten lassen sich aus folgenden, vom Verfasser[2]) bei einem mit Mais bebauten, humosen Kalksandboden ermittelten Daten ersehen:

	Mittlere Temperatur des Bodens (°C.) in 15 cm Tiefe. (Neigung der Fläche 15°.)			
(Mittel aus je 48 Beobachtungen.)	Nord.	Süd.	Ost.	West.
Vom 5.—8. Juli	**24,61**	**25,51**	**25,30**	**24,99.**

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Herausgegeben von *E. Wollny.* Heidelberg. C. Winter. Bd. X. 1887. S. 3—8.

[2]) Forschungen u. s. w. Bd. X. 1887. S. 8—54.

Diese Unterschiede treten bei ungehinderter Insolation (am Tage) und während höherer Lufttemperatur in noch stärkerem Grade hervor.

Die Wirkung zweier für den Zerfall der organischen Stoffe wichtiger Factoren (Wasser und Wärme) wird sonach durch die Exposition in nicht unbeträchtlichem Grade modificirt, woraus geschlossen werden muss, dass die Intensität der betreffenden Processe gleichergestalt abgeändert werde. Um dies festzustellen, wurden vom Verfasser[1]) Bestimmungen des Kohlensäuregehaltes des Bodens bei verschiedener Lage desselben gegen die Himmelsrichtung ausgeführt, welche folgendes Resultat lieferten:

Kohlensäuregehalt der Bodenluft (in Vol. pro Mille).
Boden nackt.

1880. (Witterung meist feucht.) **1881.** (Witterung meist trocken.)

Neigung der Fläche gegen den Horizont: 18°.

Datum.	Süd.	Ost.	West.	Nord.	Datum.	Süd.	Ost.	West.	Nord.
22. April	0,902	1,145	0,799	1,589	14. April	2,063	1,802	2,639	2,450
4. Mai	0,792	0,969	0,971	1,197	1. Mai	1,883	1,967	1,384	1,385
14. „	1,932	1,489	1,891	1,770	16. „	1,861	2,127	2,253	2,665
25. „	2,224	2,388	1,918	2,975	1. Juni	4,604	4,222	4,454	4,388
3. Juni	3,068	1,991	3,014	1,299	15. „	3,699	3,732	3,394	3,100
14. „	2,033	1,754	1,919	1,351	1. Juli	3,571	3,727	3,271	4,005
26. „	3,993	4,093	4,041	3,098	15. „	3,669	3,413	3,255	3,929
6. Juli	7,461	6,243	4,997	3,905	1. August	3,884	3,670	3,803	3,821
17. „	5,548	3,288	3,113	3,674	16. „	2,219	1,939	1,852	2,381
29. „	2,499	2,749	2,400	2,374	1. Septbr.	4,318	3,826	3,443	3,921
11. August	1,305	2,165	1,309	1,018	15. „	2,072	2,143	2,422	2,488
30. „	1,741	2,013	2,624	2,452	1. October	1,889	1,871	1,756	2,607
14. Septbr.	1,665	0,862	1,901	1,939					
27. „	1,372	1,376	1,167	1,773					
Mittel:	**2,609**	**2,323**	**2,290**	**2,172**	Mittel:	**2,978**	**2,870**	**2,827**	**3,095**

In Anbetracht der ziemlich bedeutenden Unterschiede, welche in dem Feuchtigkeitsgehalt und in der Erwärmung verschieden exponirter Böden bestehen, muss es auffallen, dass in den mitgetheilten Versuchen die Differenzen in den Mengen des gasförmigen Zersetzungsproductes (Kohlensäure) in der Bodenluft nicht prägnanter hervorgetreten sind. Dies mag zum Theil darauf beruhen, dass die Luftprobe nur aus geringen Tiefen des Erdreichs (20 cm), aus welchen die Luft leicht an die Atmosphäre diffundirt, entnommen wurde. Dazu kommt, dass auch die Winde durch verschiedene Beeinflussung der Flächen die Wirkungen der Wärme und Feuchtigkeit alterirt haben konnten. Sieht man von diesen Nebenumständen ab, so ist im Uebrigen aber die Ursache fraglicher Erscheinung in dem Umstande zu suchen, dass die beiden für die Zersetzung der organischen Stoffe maassgebendsten Factoren (Wärme und Wasser) in den verschieden gegen die Himmelsrichtung geneigten Böden sich zum Theil in ihrer Wirkung aufheben. Die Südhänge besitzen den wärmsten, aber zugleich den trockensten, die Nordseiten den kältesten, aber zugleich feuchtesten Boden. In vielen Fällen wird die stärkere Erwärmung der Südseite zu einer kräftigen Oxydation

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. IX. 1886. S. 170—174.

des Kohlenstoffs der organischen Substanzen nur wenig oder nichts beitragen können, weil die hierzu erforderliche Feuchtigkeit mangelt. In dem Boden der Nordseite andererseits wird der Zersetzung der humosen Bestandtheile zwar durch den höheren Wassergehalt Vorschub geleistet, allein der vollen Wirkung dieses Factors steht die verhältnissmässig niedrige Temperatur des Erdreiches entgegen. Auf diese Weise wird es erklärlich, warum die Unterschiede in dem Kohlensäuregehalt der Bodenluft relativ gering ausfielen.

Geht man auf die Einzelbeobachtungen näher ein, dann zeigt sich, dass die Witterung auf das Vorwiegen eines der beiden in Rede stehenden Factoren von entschiedenem Einfluss ist. In dem feuchten Jahre 1880 war die Bodenluft der Südseite fast durchgängig reicher an Kohlensäure als jene der Nordseite, weil unter solchen Umständen die Wirkung der vergleichsweise höheren Temperatur der ersteren zur Geltung kommen konnte. In dem meist trockenen Jahre 1881 war dagegen der Einfluss der Wärme auf die Kohlensäureproduction in Folge mangelnder Feuchtigkeit mehr oder weniger aufgehoben, derart, dass der Kohlensäuregehalt der Bodenluft unter denjenigen der feuchteren Nordseite herabging. Nur in einzelnen Fällen, nämlich, wenn durch grössere Niederschläge der Boden gut durchfeuchtet worden war, so z. B. am 1. und 15. Juni, sowie am 1. September, machte sich die vergleichsweise stärkere Erwärmung der Südhänge durch vermehrte Kohlensäureproduction bemerklich. Aus solchen Thatsachen folgt, dass das Maximum des Kohlensäuregehaltes verschieden exponirter Hänge in längeren oder kürzeren Perioden Verschiebungen erfährt; bei Trockenheit ist der Boden der Nordhänge meist reicher an freier Kohlensäure als der der Südhänge; ist der Boden dagegen durch vorhergehende Niederschläge gut durchfeuchtet, so findet das Umgekehrte statt.

Wenn hier nur die Nord- und Südseiten der Hänge in Betracht gezogen wurden, so geschah dies, weil diese am meisten in der Erwärmung und in den Feuchtigkeitsverhältnissen von einander abweichen und daher auch die Wirkung der in Betracht kommenden Factoren am besten erkennen lassen. Es kann daher auch unterlassen werden, diese Betrachtungen auf die Ost- und Westseiten auszudehnen, weil die hier bestehenden Verhältnisse sich nach dem Gesagten von selbst ergeben, wenn man dabei die Thatsache in Betracht zieht, dass diese Hänge in allen Beziehungen in der Mitte zwischen vorerwähnten stehen.

Bei verschiedener Lage des Bodens gegen den Horizont (Inclination) ergeben sich Unterschiede in der Richtung, dass der horizontal liegende Boden feuchter ist als der abhängige und dass letzterer einen um so geringeren Wassergehalt besitzt, je steiler die Fläche ist. Dies wird aus folgenden Zahlen ersichtlich, welche einer grösseren Reihe von Versuchen des Verfassers[1]) entnommen sind.

Wassergehalt des Bodens bis zu 20 cm Tiefe.

I. (Fläche nach Süden exponirt, mit Ackerbohnen bestellt.)

	Neigung der Fläche:			
	0°.	10°.	20°.	30°.
Mittel aus je 4 Beobachtungen:	**16,42 %**	**15,17 %**	**13,70 %**	**12,72 %**.

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. IX. 1886. S. 1—10. — Bd. X. 1887. S. 3—8.

II.	(Flächen verschieden exponirt, mit Mais bestellt.)			
Neigungswinkel:	Nord.	Süd.	Ost.	West.
15°	**19,13 %**	**16,24 %**	**17,96 %**	**18,67 %**
30°	**17,81 „**	**14,59 „**	**15,07 „**	**16,43 „.**

Die Temperaturverhältnisse gestalten sich während der wärmeren Jahreszeit in der Weise, dass der Boden bei südlicher Exposition innerhalb gewisser Grenzen um so wärmer, bei nördlicher um so kälter ist, je stärker geneigt die Fläche, während bei den Ost- und Westseiten der Einfluss der Inclination auf die Erwärmung nur ein geringer ist. Für diese Gesetzmässigkeiten sprechen folgende Daten aus Versuchen des Verfassers[1]):

Mittlere Bodentemperatur (°C.) in 15 cm Tiefe.

I.	(Fläche nach Süden exponirt, nackt.)			
	Neigung der Fläche:			
	0°.	10°.	20°.	30°.
Mittel aus je 60 Beobachtungen:	**24,03**	**25,45**	**26,04**	**26,58.**

II.	(Flächen verschieden exponirt.)			
Neigungswinkel:	Nord.	Süd.	Ost.	West.
15°	**24,61**	**25,51**	**25,30**	**24,99**
30°	**24,19**	**26,38**	**25,73**	**24,87.**

Inwieweit der Zerfall der organischen Bestandtheile des Bodens von den durch verschiedene Inclination der Fläche abgeänderten Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnissen desselben influirt wird, lässt sich zunächst aus den vom Verfasser[2]) ausgeführten Kohlensäurebestimmungen auf südlich exponirten Hängen ermessen:

Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Vol. pro Mille.

Datum. 1880.	In 20 cm Tiefe. (Boden nackt.) Neigung der Fläche:		
	10°	20°	30°
22. April	2,456	3,265	1,407
4. Mai	1,657	1,996	0,966
14. „	3,472	3,746	2,500
25. „	2,851	3,853	2,012
3. Juni	2,842	4,582	2,378
14. „	3,908	4,584	2,234
26. „	4,461	6,524	2,869
6. Juli	8,716	9,094	5,104
17. „	5,054	7,686	4,266
29. „	3,368	4,894	2,488
11. August	1,232	3,254	1,620
30. „	4,461	3,431	2,471
14. September	1,752	3,105	1,418
28. „	1,315	2,855	1,813
Mittel:	**3,396**	**4,491**	**2,393**

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. IX. 1886. S. 10–70. — Bd. X. 1887. S. 8–54.
[2]) Forschungen u. s. w. Bd. IX. 1886. S. 166–170.

Hieraus ergiebt sich, dass der Kohlensäuregehalt der Bodenluft bei einer bestimmten Neigung des Terrains (20°) am grössten war, während er bei flacherer (10°) oder steilerer Lage (30°) abnahm.

Würde die Zersetzung der organischen Substanzen, welche die Kohlensäure liefert, nur von der Bodenwärme beherrscht sein, dann hätte der Gehalt der Bodenluft an freier Kohlensäure unter den vorliegenden Bedingungen in dem Maasse zunehmen müssen, als die Hänge steiler waren. Da aber der Wassergehalt des Erdreiches gleichfalls für die Intensität des sogen. organischen Processes von Belang ist, und zwar in der Weise, dass mit steigendem Wassergehalt bis zu einer bestimmten, in vorliegendem Falle nicht überschrittenen Grenze die Kohlensäureproduction zunimmt, so wird es erklärlich, weshalb die höhere Temperatur der stark geneigten Hänge bezüglich der Kohlensäureentwickelung nicht zur Geltung kommt; es mangelt hier die für die Zersetzung der humosen Stoffe nothwendige Feuchtigkeit. Bei flacherer Lage ist zwar letztere in genügender Menge vorhanden, aber die Temperatur des Bodens ist eine vergleichsweise niedrige, so dass die Wirkung ersteren Factors auf die Kohlensäureproduction durch letzteren zum Theil wieder aufgehoben wird. Bei mittlerer Neigung des Terrains walten die für die Zersetzung der Humusstoffe günstigsten Bedingungen ob — die Feuchtigkeit ist keine so hohe wie bei flacheren, aber auch keine so niedrige wie bei steileren Hängen, und die Temperatur zwar nicht so hoch wie bei letzteren, aber auch nicht so niedrig wie bei ersteren —, so dass unter solchen Verhältnissen sich die grössten Kohlensäuremengen entwickeln können.

Das oben (S. 144) entwickelte Gesetz, nach welchem die Zersetzung der organischen Substanzen caeteris paribus von demjenigen Factor beherrscht wird, welcher unter den jeweiligen localen Verhältnissen im Minimum vorhanden ist, wird durch vorstehende Versuchsergebnisse von Neuem dargethan, und muss sich selbstverständlich, in Rücksicht auf seine allgemeine Giltigkeit in gleicher Weise wie für die bisher in Betracht gezogenen Einwirkungen, auch für alle übrigen nachweisen lassen.

Die physikalische Beschaffenheit des Bodens hat für die in demselben sich abspielenden Zersetzungsvorgänge die Bedeutung, dass von derselben der Luft- und Feuchtigkeitsgehalt sowie die Temperaturverhältnisse des Erdreiches grösstentheils abhängig sind.

Zunächst ist für die vom Boden eingeschlossene Luftmenge die Grösse der Bodentheilchen maassgebend, und zwar in der Weise, dass die Luftcapacität im feuchten Zustande des Erdreiches mit dem Durchmesser der Partikel zunimmt. Dies zeigte deutlich ein Sandboden, der durch Siebe in verschiedene Kornsortimente getrennt und entsprechend seiner kleinsten Wassercapacität durchfeuchtet worden war. Die eingeschlossene Luftmenge wurde vom Verfasser [1]) wie folgt bestimmt:

1000 Vol. des Bodens enthielten Luft (Vol.):

Korngrösse (mm)	0,01—0,071	0,071—0,114	0,114—0,171	0,171—0,25	0,25—0,50	0,5—1,0	1,0—2,0.
	104,4	**122,7**	**372,1**	**364,1**	**359,7**	**347,8**	**344,0.**

Der Thon, welcher noch feiner ist als der in vorstehendem Versuch verwendete Sand, enthielt bei gleicher Sättigung mit Wasser nur **81,6** Vol., der Humus unter gleichen Bedingungen: **293,7** Vol. Luft pro 1000 Vol. Bodenmasse. Diese Unterschiede ändern sich mit zunehmendem Wassergehalt wesentlich zu Ungunsten des feinkörnigen Materials, derart, dass dieses bei höherem Feuchtigkeitsgehalt nur

[1]) Forschungen. Bd. VIII. 1885. S. 367—373.

minimale Mengen von Luft besitzt. Dies gilt sowohl von dem sehr feinkörnigen Sande, als besonders von dem Thon und Humus, in welchen unter derartigen Umständen durch Volumvermehrung der in ihnen enthaltenen colloïdalen Bestandtheile die Poren in der Masse ausserordentlich verkleinert werden.

Da die Luft im Boden selten stagnirend ist, sondern sich in Folge von Luftdruck- und Temperaturschwankungen, sowie unter dem Einfluss der Winde meist in steter Bewegung befindet und somit einer Erneuerung unterliegt, so hat die Luftcapacität eine geringere Bedeutung für die chemischen Vorgänge, als die Durchlüftbarkeit oder die Permeabilität des Bodens für Luft. Um für diese Eigenschaft des Bodens ziffernmässige Anhaltspunkte zu gewinnen, wurden vom Verfasser[1]) den obenangeführten Quarzsandsortimenten verschiedene Wassermengen zugeführt, worauf durch die Materialien, nachdem sie in einer 50 cm hohen Schicht in Röhren von 5 cm Durchmesser verbracht worden waren, Luft unter einem Druck von 50 mm Wasser gepresst wurde. Die pro Stunde geförderten Luftmengen (in Litern) stellten sich wie folgt:

Korngrösse (mm):	0,01—0,071	0,071—0,114	0,114—0,171	0,171—0,25	0,25—0,50	0,50—1,00	1,0—2,0.
Wasserzufuhr[2]):							
80 ccm	1,02	7,00	16,30	26,16	54,90	61,44	79,55
160 „	0,69	1,08	6,48	8,83	27,00	29,82	48,00
240 „	0,24	0,27	3,16	4,32	12,00	25,05	43,00

Aus diesen Zahlen geht deutlich hervor, dass die Permeabilität des Bodens für Luft mit wachsendem Wassergehalt abnimmt, und zwar in um so höherem Maasse, je feinkörniger der Boden ist.

In Bodenarten, welche, wie besonders die thon- und humusreichen, eine grössere Menge von Colloïdsubstanzen enthalten, treten ausser den durch den Feuchtigkeitsgehalt bedingten Wirkungen noch jene hinzu, welche durch die Volumveränderungen derselben unter dem Einfluss des Wassers hervorgerufen werden. Bei der Durchfeuchtung quellen die colloïdalen Bodenelemente auf und erfahren dadurch eine Erhöhung ihres Volumens, was zur Folge hat, dass die Poren verkleinert werden und somit der durch den Boden strömenden Luft ein grösseres Hinderniss entgegenstellen als vorher. Ein eclatantes Beispiel hierfür liefert eine vom Verfasser benutzte Torfsorte (Oldenburger Torf), welche schon bei einem Wassergehalt von 33 Vol. % vollständig undurchlässig für Luft war, während sie bei voller Sättigung 60—70 Vol. % Wasser zu fassen vermochte. Aehnlich werden sich, wie mit Sicherheit anzunehmen ist, die thonreichen Böden[3]) verhalten, und so wird gefolgert werden dürfen, dass alle an Colloïdsubstanzen reichen Böden (humose, thonige, eisenreiche u. s. w.) im natürlichen Zustande schon bei einem Wassergehalt für Luft impermeabel werden, der mehr oder weniger tief unter dem Sättigungspunkt gelegen ist.

Bemerkenswerth ist schliesslich das Factum, dass bei der Zufuhr des atmosphärischen Wassers durch die Durchfeuchtung der zu Tage liegenden Schichten des Bodens der Zutritt der Luft vermindert und gehemmt wird, und zwar in um so höherem Grade, je stärker sich jene Schichten sättigen und je länger sie in diesem

[1]) Ibid. Bd. XVI. 1893. S. 193—222.

[2]) Das Volumen des Bodens betrug 981,5 ccm.

[3]) Für Böden solcher Art lässt sich dies experimentell kaum nachweisen, weil dieselben bei geringer Durchfeuchtung krümeln, bei stärkerer eine breiige Masse bilden.

Zustand verharren, d. h. je feinkörniger das Erdreich und je grösser dessen Gehalt an thonigen und humosen Bestandtheilen ist.

In gleicher Weise wie die Luftzufuhr ist der Wassergehalt des Erdreiches nach Maassgabe der physikalischen Beschaffenheit desselben unter übrigens gleichen Umständen, d. h. bei gleicher Wasserzufuhr ein sehr verschiedener.

Sieht man von Nebenumständen ab, so ergiebt sich aus den bisher angestellten Untersuchungen, dass die vom Boden eingeschlossenen Feuchtigkeitsmengen mit der Feinheit des Kornes und dem Gehalt des Bodens an colloïdalen Bestandtheilen wachsen. Dies ergiebt sich z. B. deutlich aus folgenden vom Verfasser[1]) ermittelten Daten:

Quarzsand.	Volumprocentischer Wassergehalt des Bodens bis zu 30 cm Tiefe[2]).					
Korngrösse:	0—0,25	0,25—0,50	0,50—1,0	1,0—2,0	2,0—4,5	4,5—6,75 mm
1892	24,23	18,04	15,29	9,00	7,84	6,06
1893	15,21	12,95	11,54	7,50	7,20	5,31

Lehm enthielt unter gleichen Umständen 38,81 resp. 32,66 Vol. % Wasser. Aus solchen wie den vorstehenden Daten wird geschlossen werden müssen, dass von den verschiedenen Hauptbodenarten die sandigen einen geringeren Wassergehalt aufweisen werden als Thon und Humus. Dies ist in der That der Fall, wie folgende Zahlen aus Versuchen des Verfassers[3]) zeigen.

	Volumprocentischer Wassergehalt des Bodens bis zu 30 cm Tiefe[4]).				
	Torf	humoser Kalksand	Lehm	Feinkörniger Kalksand	Quarzsand
1879	**40,99**	**36,79**	**28,31**	**25,74**	**10,39**

Diese Unterschiede werden dadurch hervorgerufen, dass mit der Feinheit des Kornes sowohl die Zahl der capillar wirkenden Hohlräume als auch die vom Wasser benetzte Oberfläche wächst und dass die Colloïdsubstanzen sich mit Wasser imbibiren, dadurch auch in der oben beschriebenen Weise zu einer Verkleinerung der Poren und gleichzeitig zu einer Vermehrung der Capillaren beitragen.

Entsprechend der Grösse der Poren stellen sich die Widerstände, welche sich dem Durchgange des Wassers durch den Boden entgegenstellen. Die Sickerwasser, welche in einer bestimmten Tiefe zum Abfluss gelangen, sind um so geringer, je feinkörniger der Boden ist. Dies wird aus folgenden, einigen Versuchen des Verfassers[5]) entnommenen Zahlen ersichtlich.

		Sickerwassermengen in 30 cm Tiefe pro 400 qcm Fläche (g)[6])					
	Regenmenge.	Quarzsand. Korngrösse:					
	g	0,0—0,25	0,25—0,50	0,50—1,0	1—2	2—4,5	4,5—6,75 mm
1892	27338	8836	15091	18880	20641	21876	22138
1893	20286	4330	10584	12790	13557	15398	15749

Thon und Humus sind für Wasser im gesättigten Zustande vollständig undurchdringlich[7]).

---

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XVI. 1893. S. 386 und 387.
[2]) Mittel aus je 27 Beobachtungen während des Sommerhalbjahres.
[3]) Forschungen u. s. w. Bd. V. 1882. S. 17.
[4]) Mittel aus je 9 Beobachtungen während des Sommerhalbjahres.
[5]) Forschungen u. s. w. Bd. XVI. 1893. S. 389 und 390.
[6]) Mittel aus je 27 Beobachtungen während des Sommerhalbjahres.
[7]) Forschungen u. s w. Bd. XIV. 1891. S. 14.

Bemerkenswerth ist die gleich hier anzuschliessende Thatsache, dass die Permeabilität eines Bodens für Wasser ausschliesslich von derjenigen Schicht abhängig ist, welche die feinsten Bestandtheile enthält. Hieraus erklärt sich, dass ein sonst für Wasser durchlässiger Boden nach unten hin kein Wasser absickern lässt, wenn er auf einem impermeablen Untergrund (Gestein, Thon, feinkörniger Sand und Kalk u. s. w.) auflagert. Unter derartigen Umständen sammelt sich das durch die oberen Partien der Bodenmasse hindurchgetretene Wasser auf der undurchlässigen Schicht an, als sogen. Grundwasser, welches je nach äusseren Verhältnissen in grösserer oder geringerer Mächtigkeit anstaut und die Partien des Bodens, in welchen es sich befindet, zum Theil oder vollständig mit Wasser erfüllt.

Was schliesslich die Bodentemperatur in ihrer Abhängigkeit von der mechanischen Zusammensetzung der Masse anlangt, so resultirt dieselbe aus der Gesammtwirkung einer Reihe von Factoren, welche in so mannigfachen Wechselbeziehungen zu einander stehen, dass mit Hilfe von Durchschnittszahlen aus Beobachtungen über längere Zeiträume kein ganz zutreffendes Bild von den bezüglichen Besonderheiten der verschiedenen Böden sich gewinnen lässt und vornehmlich nur die relativen Unterschiede in den einzelnen Perioden mit wechselnden äusseren Temperaturen einen Anhalt gewähren. Dies ergiebt sich bereits aus der zunächst hier anzuführenden Thatsache, dass die verschiedenen Bodenarten, trotz ihres beträchtlich von einander abweichenden Verhaltens den Wärmeschwankungen gegenüber, im jährlichen Durchschnitt gemeinhin nur geringe Differenzen aufzuweisen haben, wie die von *E. Ebermayer*[1]) ermittelten Daten beispielsweise beweisen.

Mittlere Jahrestemperatur des Bodens in München (° C.) (4jährige Mittel).

In einer Tiefe von	Quarzsand.	Kalksand.	Lehm.	Moorerde.
15 cm	9,27	8,63	8,55	8,92
30 „	9,21	9,10	8,74	9,17
60 „	9,39	9,14	9,11	10,16
90 „	9,42	9,23	9,16	10,03.

Ungleich deutlicher lassen sich die thermischen Verhältnisse des Bodens veranschaulichen, wenn man den Gang der Temperatur in demselben in das Auge fasst. Die in dieser Richtung bestehenden Gesetzmässigkeiten lassen sich etwa wie folgt zusammenfassen:

Bei steigender Temperatur (während der Insolation und der wärmeren Jahreszeit, sowie am Tage) erwärmt sich von den verschiedenen Bodenconstituenten der Quarz am stärksten, dann folgt in absteigender Reihe der Kalk, dann der Thon, während der Humus die geringste Temperatursteigerung erfährt. Bei sinkender Temperatur (während der kälteren Jahreszeit und während der Nacht) gestalten sich die Wärmeverhältnisse der Hauptbodengemengtheile gerade umgekehrt, insofern der Quarzsand sich am schnellsten, der Humus am langsamsten abkühlt und Thon und Kalk in dieser Beziehung in der Mitte stehen. Dies wird grösstentheils aus folgender Tabelle ersichtlich, welche der oben citirten Arbeit *E. Ebermayer's* entlehnt ist.

---

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XIV. 1891. S. 195.

Mittlere Monatstemperaturen des Bodens in München (° C.)
(4jährige Mittel).

(4jährige Mittel. 1881—1884.)

Monate und meteorologische Jahreszeiten.	Quarzsand. In einer Tiefe von				Kalksand. In einer Tiefe von				Lehm. In einer Tiefe von				Moorerde. In einer Tiefe von			
	15 cm.	30 cm.	60 cm.	90 cm.	15 cm.	30 cm.	60 cm.	90 cm	15 cm.	30 cm.	60 cm.	90 cm.	15 cm.	30 cm.	60 cm.	90 cm
December	1,24	1,94	2,89	3,91	0,77	2,08	3,05	4,10	1,36	2,01	3,20	4,28	1,68	2,67	4,67	6,05
Januar	—1,25	—0,10	1,25	2,35	—1,39	0,48	1,33	2,43	—0,75	0,00	1,57	2,73	0,24	1,28	2,36	4,24
Februar	0,19	0,24	0,96	1,69	—0,41	0,45	0,82	1,60	—0,28	0,12	0,90	1,76	—0,33	0,39	1,82	3,35
Winter	**0,06**	**0,69**	**1,70**	**2,65**	**—0,34**	**1,00**	**1,73**	**2,71**	**0,11**	**0,71**	**1,89**	**2,92**	**0,51**	**1,45**	**2,95**	**4,55**
März	3,87	3,65	3,58	3,65	3,06	3,09	3,07	3,20	2,74	2,71	3,00	3,13	0,93	1,14	1,93	2,73
April	8,44	7,85	7,11	7,02	7,71	7,23	6,87	6,44	7,03	6,84	6,89	6,42	6,08	5,57	5,48	4,81
Mai	15,41	14,48	12,94	11,49	15,05	15,14	12,20	11,12	13,77	14,71	11,99	10,69	13,21	12,70	10,69	9,06
Frühling	**9,24**	**8,66**	**7,87**	**7,39**	**8,60**	**8,49**	**7,38**	**6,92**	**7,85**	**7,90**	**7,29**	**6,75**	**6,74**	**6,47**	**6,03**	**5,53**
Juni	17,48	16,35	15,82	15,13	16,69	16,53	15,40	14,47	16,17	15,59	15,06	14,07	16,67	16,57	16,32	13,83
Juli	21,07	20,17	19,32	18,13	20,58	19,67	18,99	17,73	19,59	18,98	18,40	17,18	20,93	20,40	19,66	17,19
August	19,27	18,63	18,21	17,02	18,21	18,18	17,78	17,21	17,83	17,56	17,53	16,81	19,32	19,64	20,03	18,60
Sommer	**19,27**	**18,38**	**17,78**	**16,76**	**18,49**	**18,13**	**17,39**	**16,47**	**17,86**	**17,37**	**16,99**	**16,02**	**18,97**	**18,87**	**18,67**	**16,54**
September	14,69	14,77	15,23	15,33	13,55	14,14	14,77	14,98	14,56	14,38	14,90	14,73	15,46	16,76	17,85	17,26
October	7,91	8,48	9,80	10,79	7,35	8,60	9,88	10,87	7,74	8,46	10,15	11,08	9,22	10,38	13,13	13,91
November	3,12	3,89	5,30	6,50	2,43	4,02	5,40	6,64	3,33	3,97	5,75	7,01	3,82	5,19	8,03	9,45
Herbst	**8,57**	**9,04**	**10,11**	**10,87**	**7,77**	**8,92**	**10,02**	**10,49**	**8,54**	**8,93**	**10,27**	**11 24**	**9,50**	**10,78**	**13,01**	**13,54**

Diese Zahlen lassen deutlich erkennen,

1. dass während der kälteren Jahreszeit (Herbst und Winter) die Moorerde (Humus) am wärmsten ist, dann folgt der Lehm, während Kalk und Quarzsand am kältesten sind;

2. dass im Frühling die Temperaturverhältnisse der Hauptbodengemengtheile sich gerade umgekehrt gestalten;

3. dass während des Sommers der Quarzsand am wärmsten ist und dass dann in absteigender Reihe Moorerde (Humus), Kalk und Lehm folgen.

Zieht man in Rücksicht auf die Intensität der Zersetzungsvorgänge nur die wärmere Jahreszeit (April bis September) in Betracht, so würde sich nach vorliegenden, sowie anderweitigen Beobachtungen folgern lassen, dass sich im Durchschnitt die Temperaturverhältnisse des Thones, der hier durch den Lehm repräsentirt ist, am ungünstigsten, im Quarzsand am besten gestalten, während Humus (Moorerde) und Kalk in dieser Beziehung zwischen jenen beiden Böden stehen. Hierdurch wird es verständlich, warum der Praktiker den Thon als einen „kalten“, den Quarzsand als einen „warmen“ Boden bezeichnet.

Die betreffenden Unterschiede, wie hier in Kürze angeführt sein mag, beruhen auf solchen in der Wärmecapacität, dem Wärmeleitungsvermögen, sowie in den durch Verdunstung hervorgerufenen Wärmeverlusten. Die Wärmecapacität des Quarzsandes ist eine geringere als die des Thones, weil jener weniger Wasser enthält als dieser. Berücksichtigt man ferner, dass für die Erwärmung des Sandes in Folge letzteren Umstandes weniger Wärme verloren geht als für die des Thones, dass ersterer ein ungleich besseres Wärmeleitungsvermögen besitzt als dieser, so wird es begreiflich, weshalb alle sandigen Bodenarten sich bei höherer Temperatur stärker erwärmen als die thonreichen. Die höhere Wärmeleitungsfähigkeit des Quarzsandes, im Verein mit der geringeren Wärmecapacität desselben, verglichen mit den gleichen Eigenschaften des Thones, ist aber auch die Ursache der Erscheinung, dass die Temperatur des ersteren während der kälteren Jahreszeit tiefer sinkt als jene des letzteren. Für die vergleichsweise langsame Erwärmung des Humus mit steigender Temperatur spricht der Umstand, dass dieser Bodenconstituent unter allen übrigen die geringste Wärmeleitungsfähigkeit und wegen seines hohen Wassergehaltes die grösste Wärmecapacität besitzt, Eigenschaften, welche gleichzeitig bedingen, dass er sich im Vergleich zu allen anderen Hauptgemengtheilen des Bodens am langsamsten abkühlt, aber auch langsamer erwärmt als diese. Dadurch, dass der Kalk in seinen bezüglichen Eigenschaften zwischen dem Qarzsand und dem Thon steht, zeigt er bezüglich seiner Temperaturverhältnisse ein entsprechend mittleres Verhalten.[1])

Bei einer und derselben Bodenart ist die Erwärmung von der Oberflächenbeschaffenheit, der Grösse der Bodentheilchen, sowie von dem Wassergehalt vornehmlich abhängig.

Bezüglich des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit ist hervorzuheben, dass die Abtrocknung der obersten Schicht mit einer Erhöhung der Bodentemperatur verknüpft ist[2]), weil unter solchen Umständen die Wasserverdunstung überhaupt und namentlich von der Oberfläche vermindert wird. Bei annähernd gleicher Beschaffenheit hat ferner die Farbe der Ackererde auf deren Erwärmung bis in verhältniss-

[1]) Bezüglich der Details sind folgende Arbeiten zu vergleichen: Von *J. Ahr.* Forschungen u. s. w. Bd. XVII. 1894. S. 397. — Von *R. Ulrich.* Ibid. Bd. XVII. 1894. S. 1. — Von *F. Wagner.* Ibid. Bd. VI. 1883. S. 1. — Von *E. Wollny.* Ibid. Bd. IV. 1881. S. 147.

[2]) Forschungen u. s. w. Bd. III. 1880. S. 338—342.

mässig grössere Tiefen einen nicht unbedeutenden Einfluss[1]). Während der wärmeren Jahreszeit, bei ungehinderter Bestrahlung, ist der Boden um so wärmer, je dunkler die Farbe desselben ist. Die Temperaturunterschiede zwischen dem dunkel und hell gefärbten Boden verschwinden mehr oder weniger in der kälteren Jahreszeit und bei verminderter Insolation. Dieser Einfluss der Farbe nimmt jedoch in dem Grade ab, als der Wassergehalt zunimmt[2]) und die sonstigen für die Erwärmung des Erdreiches maassgebenden Factoren das Uebergewicht gewinnen. Bei grösseren Unterschieden in der physikalischen Beschaffenheit des Bodens, hauptsächlich bedingt durch höheren Humusgehalt und grössere Wassercapacität, kann der Einfluss der Farbe in der geschilderten Richtung vollständig beseitigt werden.

Der Einfluss der Grösse der Bodentheilchen auf die Erwärmung des Erdreiches macht sich nach den vorliegenden Beobachtungen[3]) in der Weise geltend, dass dasselbe während der Sommermonate um so wärmer, während der Wintermonate um so kälter ist, je grösser die Partikel sind. Das wird aus folgenden, vom Verfasser ermittelten Zahlen ersichtlich:

Datum.	Quarzsand. Korngrösse (mm).	Bodentemperatur[4]) in 10 cm Tiefe (° C.). 0,0—0,25	0,25—0,50	0,50—1,0	1,0—2,0.
5.—8. Juli	. . . .	23,72	24,65	25,16	25,36
5.—8. Januar	. . . .	—	− 0,62	− 1,19	− 1,43.

Die Ursachen der aus diesen Daten hervorgehenden Gesetzmässigkeit beruhen hauptsächlich darauf, dass mit der Zunahme des Korndurchmessers der Wassergehalt sich vermindert und die Wärmeleitungsfähigkeit der Masse sich erhöht.

In nicht unerheblichem Grade sind die Wärmeverhältnisse des Bodens von dessen Wassergehalt abhängig[5]). Während der wärmeren Jahreszeit ist die Temperatur des Erdreiches bei sonst gleicher substantieller Beschaffenheit im Allgemeinen um so niedriger, je grösser der Wasservorrath in demselben ist, weil in dem gleichen Maasse der durch Verdunstung bedingte Wärmeverbrauch an der Oberfläche wächst und die specifische Wärme zunimmt. Die betreffenden Unterschiede sind um so geringer, je mehr die Verdunstung abnimmt und die dem höheren Wassergehalt entsprechende bessere Wärmeleitung zur Geltung kommt; sie sind daher während der kälteren Jahreszeit, bei mangelnder Insolation, niedriger Luftwärme, Windstille, hoher Luftfeuchtigkeit und bei stärkerer Austrocknung der obersten Schicht des Bodens am kleinsten, in entgegengesetzten Fällen am grössten. Der Effect der Abkühlung in Folge von Verdunstung wird unter gleichen übrigen Bedingungen um so eher und leichter beglichen oder überwogen, je weniger Wasser der Boden enthält, je kleiner dessen Wassercapacität und je geringer seine Fähigkeit ist, den an der Oberfläche stattgehabten Verlust durch capillare Hebung aus der Tiefe zu ersetzen.

Das Maass des Einflusses des Wassers auf die Bodentemperatur lässt sich aus folgenden Daten ersehen:

---

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. I. 1878. S. 43—69.
[2]) Ibid. Bd. IV. 1881. S. 327—365.
[3]) Ibid. Bd. V. 1882. S. 179—208.
[4]) Mittel aus je 36, Tag und Nacht angestellten Beobachtungen.
[5]) Ibid. Bd. IV. 1881. S. 147—190.

Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (° C.).

	Lehm.			Quarzsand.		
	nass	feucht	trocken	nass	feucht	trocken
5.—14. Juni:	22,08	23,47	24,92	21,80	22,59	23,90
Differenz:	1,39	1,45		0,79	1,31	
Differenz (nass zu trocken):	2,84			2,10.		

Bei Zusammenfassung der im Vorstehenden geschilderten Thatsachen ergiebt sich mit voller Deutlichkeit, dass die für die Zersetzung der organischen Stoffe wichtigsten Eigenschaften der Böden in den mannigfachsten Wechselbeziehungen zu einander stehen und dadurch zu einer Reihe ziemlich complicirter Erscheinungen Veranlassung geben.

Sieht man zunächst von den zuletzt berührten Einwirkungen ab, so lässt sich aus obigen Darlegungen ersehen, dass die Hauptbodengemengtheile sich in Bezug auf ihr Verhalten zur Luft, zum Wasser und zur Wärme in erheblichem Grade von einander unterscheiden. Der Quarzsand ist während der Hauptperiode der Zersetzung (wärmere Jahreszeit) von allen Bodenarten am wärmsten und der Luft am leichtesten zugänglich, dagegen am trockensten. Der Thon ist charakterisirt durch hohen Wassergehalt und geringe Durchlüftbarkeit und Erwärmungsfähigkeit. Für den Humus wurde nachgewiesen, dass derselbe grosse Mengen von Feuchtigkeit zu fassen vermag, im natürlichen Zustande aber wegen seines hohen Wassergehaltes in der Regel für Luft schwer zugänglich ist und eine langsame Erwärmungsfähigkeit und höhere Temperaturen nur im Sommer [1]) und Frühherbst besitzt. Der Kalk schliesslich erwies sich als eine Bodenart, welche in den bezüglichen physikalischen Eigenschaften zwischen dem Quarzsand und dem Thon steht.

Aus dieser Charakteristik der Hauptbodengemengtheile geht zur Genüge hervor, dass die für die Zersetzung der organischen Substanzen maassgebenden, im Boden selbst liegenden Factoren in theils sich unterstützender, theils in gegenseitig sich aufhebender Weise ihren Einfluss geltend machen werden. Welcher derselben im concreten Fall die bezüglichen Processe beherrscht, lässt sich vollständig nach dem oben entwickelten Gesetz des Minimums und Maximums ermessen. Mit Hilfe desselben erlangt man in Bezug hierauf etwa folgende Vorstellung.

In dem Quarzsand sind die höhere Permeabilität und stärkere Erwärmung der Verwesung der organischen Stoffe unzweifelhaft günstig, dagegen der niedrige Wassergehalt für diesen Process hinderlich. Das Wasser ist sonach in dieser Bodenart der Factor, von welchem der Zerfall der organischen Substanzen vornehmlich beherrscht wird. Da die Menge desselben jeweils von den Niederschlägen abhängig ist, so influiren diese die Zersetzungsprocesse in einem ausserordentlichen Grade. In einem feuchten Klima, besonders in einem solchen, in welchem eine öftere Anfeuchtung des Bodens stattfindet, ist der Zerfall aller in demselben vorhandenen organischen Stoffe ein höchst intensiver, sogar in vielen Fällen derart, dass es unter solchen Verhältnissen in dem Sande zu keiner nennenswerthen Ansammlung von Humusstoffen kommt. Der Sand kann unter diesen Umständen nach dem Sprachgebrauch der Praktiker mit vollem Fug und Recht als ein „thätiger“ bezeichnet werden. Anders

[1]) Dies ist nicht immer der Fall, wie aus verschiedenen vom Verfasser angestellten, aber noch nicht publicirten Versuchen sich ergiebt.

verhält sich diese Bodenart jedoch in einem trockenen Klima, in welchem das Wasser in's Minimum geräth und die bessere Luftzufuhr und höhere Temperatur der Verwesung der organischen Stoffe nur nach Maassgabe der spärlich vorhandenen Wassermengen zu Gute kommt. In diesem Fall vollzieht sich der Zersetzungsprocess langsamer, immerhin aber, extreme Verhältnisse ausgenommen, in stärkerem Grade als in den meisten anderen Bodenarten.

Dem Thon mangelt zwar meistens nicht die zum Zerfall der organischen Stoffe erforderliche Feuchtigkeit, wohl aber die hierzu nothwendige Luftmenge. Zudem gehört diese Bodenart zu den sogen. kalten. In Folge dieser Beschaffenheit wird die Zersetzung in dem Thon vornehmlich von der Permeabilität, demnächst von der Temperatur desselben bestimmt, und zwar unter natürlichen Verhältnissen in der Weise, dass die Vorgänge bei dem Zerfall der organischen Stoffe äusserst langsam verlaufen. In diesem Sinne kann diese Bodenart als eine „unthätige" bezeichnet werden. In einem feuchten Klima und bei dichter Lagerung der Bodentheilchen kann der Luftzutritt sogar so beschränkt werden, dass statt der Verwesung die Fäulniss der organischen Substanzen in die Erscheinung tritt.

Nach Vorstehendem sind die meisten Sandsorten in der Regel durch kräftige Oxydationsvorgänge charakterisirt, die sich natürlich nicht nur auf den Kohlenstoff der organischen Substanz, sondern auch auf das bei der Verwesung gebildete Ammoniak erstrecken. Die Nitrification ist also in solchen Böden mehrentheils eine sehr energische. In den Thonböden dagegen ist die Oxydation der organischen Stoffe nicht allein beschränkt, sondern zuweilen, namentlich bei stärkeren atmosphärischen Niederschlägen und bei natürlichem Gefüge, vollständig aufgehoben. In diesem Falle treten Desoxydationsprocesse in die Erscheinung, unter welchen die Denitrification in landwirthschaftlicher Beziehung besonders beachtenswerth ist.

Der Kalk nähert sich bezüglich der in demselben vor sich gehenden Zersetzungsprocesse, je nach der Grösse der Partikel, welche bei dieser Bodenart sehr verschieden und, wie gezeigt, für die Wasseraufspeicherung maassgebend ist, dem Quarzsande oder dem Thon.

Der Humus zeigt ein verschiedenes Verhalten, je nach den Feuchtigkeitsmengen, welche er besitzt. Ist er in grösseren Mengen angehäuft und mit Wasser gesättigt, wie z. B. in den Torfmooren, in den Schlammablagerungen der Seen und Flüsse, so unterliegen die organischen Stoffe der Fäulniss in Folge des Luftabschlusses. Wird solcher Boden entwässert und der Luft zugänglich gemacht, so treten Oxydations- an Stelle der Desoxydationsprocesse und die zugeführte organische Substanz zersetzt sich, besonders in den Sommermonaten, ziemlich lebhaft, weil, abgesehen von der guten Durchlüftung, in der Regel grössere Feuchtigkeitsmengen in der Masse vorhanden sind und günstige Temperaturverhältnisse in derselben obwalten. Die Bestandtheile des Bodens selbst, welche sich unter dem Luftabschluss gebildet haben, verwesen aber unter derartigen Umständen nur langsam, wie oben (S. 115) nachgewiesen wurde.

Die in der Natur vorkommenden Bodenarten, welche meist ein Gemisch der vorstehend beschriebenen Bodenconstituenten darstellen, besitzen je nach dem Vorwiegen des einen oder anderen Bestandtheils sehr verschiedene physikalische Eigenschaften und dementsprechend ein verschiedenes Verhalten in Bezug auf den Zerfall der organischen Stoffe. Nach dem Mitgetheilten dürfte es, unter Berücksichtigung der

mechanischen Beschaffenheit des Bodens, keine besonderen Schwierigkeiten bieten, eine annähernd richtige Vorstellung von den betreffenden Erscheinungen im gegebenen Fall zu gewinnen.

Zur Beurtheilung des Verlaufs des Zersetzungsprocesses der organischen Stoffe bei verschiedener Feinheit des Bodenmaterials ist, wie in vorbezeichneten Fällen, das mehrfach citirte Gesetz heranzuziehen. Mit dem Korndurchmesser nimmt zwar der Luftzutritt und die Temperatur zu, aber die vom Boden festgehaltene Feuchtigkeitsmenge stetig ab, so dass das Wasser im grobkörnigen Erdreich zum herrschenden Factor wird. Nur bei häufiger Anfeuchtung nimmt der Zerfall der organischen Bestandtheile einen rapiden Verlauf, während bei trockener Witterung oder in einem trockenen Klima in derartig beschaffenen Bodenarten dieser Process nur langsam von Statten geht. In dem sehr feinkörnigen Material mangelt es in der Regel nicht an Feuchtigkeit, wohl aber häufig an den zur stärkeren Zersetzung erforderlichen Luftmengen, derart, dass bei grösseren atmosphärischen Niederschlägen der Verwesungs- durch einen Fäulnissprocess verdrängt werden kann. Aus derartigen Betrachtungen folgt, dass in den meisten Fällen Böden von mittlerer Feinheit und, wie gleich hinzugefügt werden kann, auch von annähernd übereinstimmender Grösse ihrer Elemente die günstigsten Bedingungen zu einer ergiebigen Zersetzung ihrer organischen Bestandtheile bieten, und dass dieselben von dem extrem feinkörnigen Erdreich nur bei mangelnder atmosphärischer Zufuhr übertroffen werden.

Der Einfluss des Wassergehaltes eines und desselben Bodens auf den Zerfall der organischen Stoffe macht sich in der oben (S. 123) angegebenen Weise geltend. Der vollständig mit Wasser erfüllte Boden verursacht Fäulniss; in dem Maasse die Feuchtigkeitsmenge sich einem gewissen mittleren Grade nähert und dementsprechend die Luft Zutritt zu den Bestandtheilen des Bodens gewinnt, nimmt der Process die Form der Verwesung an, in seiner Intensität stetig intensiver werdend, während er bei dem Ueberschreiten jener Grenze mit weiterer Abnahme des Wassergehaltes des Materials eine gleichlaufende Einbusse erfährt und zum Stillstand kommt, sobald der lufttrockene Zustand in der Masse erreicht ist.

Für die Zersetzungsvorgänge im Boden unter natürlichen Verhältnissen ist schliesslich noch der Umstand belangreich, dass die Luftzufuhr nach der Tiefe hin abnimmt, was zur Folge hat, dass in den oberen Schichten des Erdreiches Verwesung, in den tieferen dagegen von einer gewissen Grenze ab Fäulniss herrscht. Nach dem Vorgange von *G. J. Mulder*[1]) kann man demgemäss eine Oxydations- von einer Desoxydationsschicht unterscheiden. Diese Verschiedenheiten in den chemischen Processen zwischen den höher und tiefer gelegenen Bodenpartien machen sich, ausser in Bezug auf die organischen Stoffe, auch in dem Verhalten des Eisens bemerkbar, welches, so lange als genügende Sauerstoffmengen in dem Material vorhanden sind, als Oxyd oder wenigstens als Oxyduloxyd, bei Luftabschluss dagegen als Oxydul, in manchen Fällen (Torfmoore) als Schwefeleisen auftritt.

Die Grenze zwischen der Oxydations- und Desoxydationsschicht ist naturgemäss nicht scharf gezogen, zumal äussere Umstände für das Eindringen der Luft in den Boden mit maassgebend sind. Sie ist aber, abgesehen hiervon, wesentlich abhängig von der physikalischen Beschaffenheit und dem Wassergehalt des Erdreiches. In Böden

---

[1]) *G. J. Mulder.* Die Chemie der Ackerkrume. Deutsch von *J. Müller.* Berlin. 1862. S. 28 u. 34.

von gröberer Structur liegt sie ungleich tiefer als in solchen, deren Partikel sehr fein sind, und in extremen Fällen, wie z. B. in Thonböden, welche nicht bearbeitet werden, kann selbst die Oxydationsschicht vollständig fehlen. Dasselbe ist der Fall, wenn das Erdreich in Folge geringer Tieflage der undurchlässigen Schicht oder durch seitliche Infiltrationen und Ueberstanungen dauernd bis zur Oberfläche mit Wasser gesättigt ist. In dem Maasse unter solchen Verhältnissen der Wasserspiegel tiefer gelegt und dadurch der Luft Zutritt zum Erdreich verschafft wird, gewinnen allmählich in den entwässerten Bodenschichten die Oxydationsprocesse die Oberhand. Dies documentirt sich u. A. auch darin, dass das Schwefeleisen in schwefelsaures Eisenoxydul und dieses schliesslich in Oxydsalz umgewandelt wird.

Für die geschilderten Vorgänge in den verschiedenen Bodenarten sind, soweit es sich um den Zerfall der organischen Stoffe handelt, ziffernmässige Belege durch Bestimmung der Kohlensäuremengen nicht beizubringen, weil diese bei verschiedener mechanischer Zusammensetzung nicht allein von der Intensität des Zersetzungsprocesses, sondern auch von den Widerständen abhängig sind, welche sich dem Austritt des Gases aus dem Boden entgegenstellen. So kann z. B. der Gehalt an freier Kohlensäure in einem Sandboden niedriger sein als in einem Lehm- oder Thonboden, obwohl in ersterem Fall sich die organische Substanz ungleich stärker zersetzt als in letzterem, und zwar lediglich aus dem Grunde, als in jenem die Kohlensäure viel leichter in die Atmosphäre übergeht als in diesem.

In gleicher Weise wie die bisher in Betracht gezogene physikalische ist auch ***die chemische Beschaffenheit des Bodens*** für die hier in Rede stehenden Naturerscheinungen von Bedeutung. Dies lässt sich bereits aus obigen Darlegungen über den Einfluss chemischer Agentien auf die Verwesung schliessen. Hierauf verweisend, mag an dieser Stelle nur hervorgehoben werden, dass unter natürlichen Verhältnissen dem Kalk wohl die wichtigste Rolle zuertheilt ist, der, wie gezeigt, als Carbonat die Verwesung humificirter organischer Substanzen, und als Sulfat besonders die Nitrification wesentlich fördert. Die sogen. sauren Humussubstanzen, welche sich bei Luftabschluss in Folge von Fäulniss der organischen Stoffe bilden, verzögern dagegen die bezeichneten Vorgänge. Dasselbe ist der Fall, wenn sich grössere Mengen von Salzen im Boden ansammeln, wie z. B. in den ariden Regionen, oder solche Salze, welche, wie das Kochsalz, ausgesprochene antizymotische Eigenschaften besitzen.

3. Die Vegetationsformen und leblosen Bodendecken.

Durch die Bedeckung des Bodens mit lebenden Pflanzen oder leblosen Materialien (Waldstreu, Stroh, Stalldünger u. s. w.) werden die Wärme und die Feuchtigkeit desselben in so durchgreifender Weise, besonders während der wärmeren Jahreszeit abgeändert, dass den Bodendecken ein hervorragender Antheil an den Zersetzungsvorgängen zukommt. Um dies zu verstehen, wird es vorerst nothwendig sein, sich ein Bild von den einschlägigen Wirkungen zu machen, wobei folgende Mittheilungen einen Anhalt gewähren mögen.

Der Einfluss der Bedeckung auf ***die Temperaturverhältnisse des Erdreiches*** ist in ausführlicher Weise von *E. Ebermayer* [1]) und dem Ver-

[1]) *E. Ebermayer.* Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden. Berlin. 1873. — Forschungen u. s. w. Bd. XIV. 1891. S. 379—399.

fasser[1]) festzustellen versucht worden. Zur Illustration können die folgenden, von letzterem ermittelten Daten dienen[2]):

Monat.	Bodentemperatur (° C.).											
	Gras.				Düngerdecke, 1,5 cm stark.				Nackt.			
	In einer Tiefe von				In einer Tiefe von				In einer Tiefe von			
	10 cm.	40 cm.	70 cm.	100cm.	10 cm.	40 cm.	70 cm.	100cm.	10 cm.	40 cm.	70 cm.	100cm.
Mai 1875	16,74	15.09	13,40	11,62	16,16	14,89	12,94	11,22	17,00	15,32	13,60	11,53
Juni „	18,27	17,84	16,97	15,52	18,71	18,00	16,90	15,38	19,98	18,71	17,34	15,79
Juli „	17,69	17,85	17,42	16,53	19,05	18,39	17,52	16,56	19,60	18,48	17,71	16,90
Aug. „	18,79	18,92	18,39	17,44	19,90	19,44	18,44	17,49	21,21	19,81	18,89	17,98
Sept. „	14.72	15,97	16,34	16,31	15,18	15,72	16.24	16,12	15,54	15,98	16,37	16,35
Oct. „	7,79	9,65	10,89	11.74	8,09	9,66	10,86	11,43	6,80	9,01	10,56	11,39
Nov. „	3,76	4,95	6,06	7.07	3,81	4,85	6,03	6,93	2,43	4,40	5,85	6,71
Dec. „	—0,48	1,19	2,45	3,55	—0,02	1,12	2,46	3,48	—2,06	0,27	2,01	3,08
Jan. 1876	—2,83	—0,45	0,89	1,81	—1,68	0,02	0,89	1,85	—3,47	—1.28	0,60	1,49
Febr. „	—1,79	—1,10	—0,13	0,63	—1,56	—0,96	—0,06	0,72	—1,01	—1,46	—0,29	0,39
März „	2,98	1,04	0,72	1,33	1,68	0,54	0,44	1,16	3,95	1,09	0,46	0,98

Ueber die Erwärmung des Bodens unter Waldbäumen geben folgende, unter ganz gleichen Verhältnissen angestellte Beobachtungen des Verfassers[3]) nähere Auskunft:

Datum. 1887.	Bodentemperatur in 25 cm Tiefe. (° C.)				
	Fichten ohne Streudecke.	Fichten mit Streudecke.	Birken ohne Streudecke.	Gras.	Nackt.
April	5,71	5,11	7,15	6,44	7,06
Mai	9,82	9,83	10,73	11,44	11,22
Juni	15,14	14,69	17,02	16,74	18,22
Juli	18,70	18,32	20,58	20,94	22,05
August	17,13	16,91	18,64	18,62	19,39
September	14,75	14,51	15,97	15,49	16,36
Mittel:	**13,57**	**13,26**	**15,04**	**14,98**	**15,75**

Die durch die verschiedenen Streudecken hervorgerufene Aenderung der Bodentemperatur lässt sich aus folgenden Ergebnissen von Beobachtungen des Verfassers[4]) ersehen:

[1]) *F Wollny*. Der Einfluss der Pflanzendecke und Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und die Fruchtbarkeit des Bodens. Berlin. 1877. — Forschungen u. s. w. Bd. VI. 1883. S. 198—256. — Bd. X. 1887. S. 261—344. — Bd. XII. 1889. S. 1—75. — Bd. X. 1887. S. 415—446. — Bd. XIII. 1890. S. 134—184. — Bd. XVII. 1894. S. 153—202.

[2]) Forschungen u. s. w. Bd. VI. 1883. S. 220.

[3]) Ibid. Bd. XVII. 1894. S. 154—171.

[4]) Ibid. Bd. XIII. 1890. S. 163.

Monat.	Bodentemperatur in 12 cm Tiefe. (° C.)					
	Streudecken, 2,5 cm stark.					Nackt.
	Kiefern-nadeln.	Fichten-nadeln.	Eichenlaub.	Buchenlaub.	Moos.	
Mai	13,38	13,16	13,15	13,17	13,25	15,11
Juni	17,34	17,20	17,05	17,03	17,28	18,35
Juli	16,27	16,38	15,70	15,68	16,17	16,57
August	17,06	17,04	16,54	16,55	16,89	17,84
September	14,45	14,50	14,25	14,24	14,28	14,59
October	7,30	7,39	7,24	7,20	7,28	7,21
Mittel:	**14,30**	**14,28**	**13,99**	**13,98**	**14,19**	**14,94**

Bei Durchsicht dieser Zahlen gelangt man zu dem Schluss,

1. dass der mit lebenden Pflanzen oder abgestorbenen Pflanzentheilen (Streu, Dünger, Stroh u. s. w.) bedeckte Boden während der wärmeren Jahreszeit bis in grössere Tiefen durchschnittlich erheblich kälter, während der kälteren Jahreszeit dagegen wärmer ist als der nackte, sowie

2. dass die bezüglichen Unterschiede besonders in den Sommermonaten hervortreten und in den übrigen Jahreszeiten andererseits sich in einem geringeren Grade geltend machen.

In dem täglichen Gange der Temperatur stellen sich die bezüglichen Wirkungen in einem ungleich grösseren Grade heraus als in den Durchschnittstemperaturen aus längeren Zeiträumen, wie solche hier zunächst in Betracht gezogen wurden. Dies geht aus folgendem Beispiel[1]) zur Evidenz hervor:

Zeit. 8. Juni 1876.	Bodentemperatur in 10 cm Tiefe. (° C.)		
	Gras.	Düngerdecke 1 cm stark.	Nackt.
12 Uhr (Mitternacht)	19,0	19,2	18,9
2 "	18,6	18,7	18,0
4 "	18,3	18,2	17,3
6 "	**18,0**	**18,0**	**16,8**
8 "	18,0	17,9	17,2
10 "	18,6	18,8	19,5
12 " (Mittag)	19,5	20,2	23,2
2 "	20,7	21,7	26,6
4 "	21,3	22,9	28,5
6 "	**21,3**	**23,2**	**28,5**
8 "	20,9	22,8	26,7
10 "	20,4	22,0	23,4
Mittel:	**19,53**	**20,26**	**22,03**

Die durch Satz 1 charakterisirten Temperatur-Unterschiede zwischen der bedeckten und nackten Ackerkrume sind mithin zur Zeit des täglichen Maximums und überhaupt am Tage grösser als in den Monatsmitteln. Während der Nacht ist der Boden, namentlich zur Zeit des täglichen Temperaturminimums, im nackten Zustande mehren-

[1]) *E. Wollny.* Der Einfluss der Pflanzendecke u. s. w. S. 44.

theils, wenn auch nicht immer, kälter als der bedeckte. Die Bodenerwärmung unter dem Einfluss der verschiedenen Bodenarten gestaltet sich in den oberen Partien (Ackerkrume) am Tage wie in den monatlichen Mitteln während der wärmeren Jahreszeit, und in der Nacht wie in den bezüglichen Durchschnittswerthen während der kälteren Jahreszeit. Die Erhöhung der Temperatur des nackten Bodens gegenüber jener des bedeckten am Tage ist jedoch so stark, dass die vergleichsweise stärkere Abkühlung des ersteren im Vergleich zum letzteren in der Nacht, in der warmen Periode nicht allein aufgehoben, sondern auch überwogen wird, wie die Mittelzahlen vorstehend mitgetheilten Versuches hinlänglich darthun.

Im Uebrigen ist der Effect, den die Bedeckung auf die Wärmeverhältnisse des Bodens äussert, dem Grade nach sehr verschieden, je nach dem jeweiligen Zustande der Witterung, der Beschaffenheit des Bodens und der denselben bedeckenden Gegenstände.

Tritt während der wärmeren Jahreszeit eine bedeutende Depression der Temperatur ein, so ist der nackte Boden in den oberen Partien nicht mehr wärmer, sondern kälter als der mit Pflanzen bestandene. Steigt umgekehrt nach einer längeren Kälteperiode die Temperatur, so erwärmt sich der brachliegende Boden schneller, als wenn derselbe mit lebenden Pflanzen oder abgestorbenen Pflanzentheilen bedeckt ist. Je grösser ferner die Zahl heiterer und sonniger Tage ist, um so erheblicher sind die Unterschiede in den Temperaturverhältnissen zwischen dem bedeckten und nackten Boden, wohingegen sich dieselben vermindern in dem Maasse, als die Bewölkung zunimmt und die äussere Temperatur herabgeht. Aus solchen Thatsachen folgt, dass die Wirkung der Bedeckung des Bodens auf dessen Temperatur in um so stärkerem Grade sich bemerkbar macht, je günstiger sich die äusseren für die Erwärmung des Bodens maassgebenden Momente gestalten und vice versa.

Nicht unerwähnt wird gelassen werden dürfen, dass die bezüglich der Bodenerwärmung charakteristischen Einwirkungen der Bodendecke, wie solche durch Satz 1 näher präcisirt sind, auf Böden von verschiedener physikalischer Beschaffenheit in verschiedenem Grade in die Erscheinung treten. In Böden mineralischen Ursprungs, namentlich in Sandböden, welche die Wärme verhältnissmässig gut leiten, ist der durch die Bedeckung hervorgerufene Wechsel in den Temperaturverhältnissen ein bedeutend schnellerer als in Böden organischer Abstammung (Torf) mit langsamer Wärmeleitung, so dass in ersterem Falle der nackte Boden im Vergleich zum bedeckten mit steigender Temperatur sich schneller erwärmt, mit abnehmender Temperatur schneller erkaltet als in letzterem Falle[1]).

Schliesslich kommt der Umstand in Betracht, dass die Beschaffenheit der Decke unter übrigens gleichen Verhältnissen für die Temperatur des Bodens sich belangreich erweist.

Bei den kurzlebigen Pflanzenarten sind die geschilderten Temperaturunterschiede zwischen dem bedeckten und unbedeckten Boden sehr gering, so lange die Pflanzen sich im jugendlichen Zustande befinden und die Insolation nur eine schwache ist, wie im Frühjahr; dieselben werden mit fortschreitendem Wachsthum und steigender Lufttemperatur stetig grösser und erreichen daher in den Sommermonaten gewöhnlich

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. VI. 1883. S. 199—218.

ihr Maximum, während sie sich gegen den Herbst vermindern, in dem Maasse die Beschattung und die Intensität der Sonnenstrahlung geringer werden.

Aehnlich verhalten sich die Waldbäume, nur mit dem Unterschiede, dass wegen der langsamen Entwickelung derselben die Wirkungeu verschieden altriger Pflanzen sich über grössere Zeiträume auf Jahrzehnte hinaus erstrecken. Erst wenn diese Gewächse so weit gediehen sind, dass sie im dichten geschlossenen Stande den Boden bedeckeu, wird durch dieselben der stärkste Grad der Temperaturerniedrigung des Erdreiches in deu wärmeren Monaten herbeigeführt.

Von ziemlich bedeutendem Einfluss auf die Bodentemperatur erweist sich die Standdichte der Pflanzen, wie sich aus folgendem Versuch des Verfassers [1]) ersehen lässt:

Erbsen.

Datum 1878.	Bodentemperatur in 10 cm Tiefe. (° C.) Zahl der Pflanzen pro 4 qm (im Quadratverband):			
	64	100	144	196
26 Juni	18,53	18,14	17,59	17,24
27. "	18,25	17,95	17,38	16,93
28. "	18,61	17,94	17,53	16,94
29. "	23,69	22,97	22,26	21,37
Mittel:	18,78	18,29	17,76	17,23

Diese Zahlen vermitteln die Thatsache, dass die Bodentemperatur während der wärmeren Jahreszeit um so niedriger ist, je dichter die Pflanzen stehen. Im Weiteren haben die bezüglichen Untersuchungen des Verfassers [2]) ergeben, dass der Boden während des Sommers sich um so schwächer erwärmt, je kräftiger die oberirdischen Organe der Pflanzen entwickelt sind. Auf einer Grasparcelle, auf welcher auf der einen Hälfte die Gräser durch geeignete Düngung zu üppiger Entwickelung gebracht worden waren, während dieselben auf der anderen ungedüngt gebliebenen Hälfte ein mässiges Wachsthum zeigten, wurden z. B. folgende Temperaturunterschiede festgestellt:

1882.	Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (° C.) 19. Juli.	20. Juli.	21. Juli.	22. Juli.	Mittel.
Gras, gedüngt	19,42	19,83	20,15	20,12	**19,88**
" ungedüngt	20,03	20,82	21,16	20,72	**20,68.**

Ein ferneres Beispiel liefert ein Versuch, in welchem bei gleicher Standweite Bohnenpflanzen aus grossen und kleinen Körnern angebaut wurden. Die entsprechend der Grösse des Saatgutes entwickelten Pflanzen hatten auf die Bodentemperatur einen verschiedenen Einfluss ausgeübt, der deutlich aus nachstehenden Daten hervorgeht:

[1]) Ibid. Bd. VI. 1883. S. 243.

[2]) Forschungen u. s. w. Bd. VI. 1883. S. 227—250.

1881.	Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (° C.) Bohnen I. aus grossen Körnern.	kleinen Körnern.	Bohnen II. aus grossen Körnern.	kleinen Körnern.
7. Juli:	21,90	23,19	21,10	22,42
8. „	21,10	23,23	21,59	22,57
Mittel:	**21,50**	**22,80**	**21,93**	**22,90**

Wie bei den landwirthschaftlichen Gewächsen ist gleichergestalt bei den forstlichen die Beeinflussung der Bodentemperatur von der Standdichte, dem Grade der Entwickelung der oberirdischen Organe und von der jeder Species eigenthümlichen Ausbildung letzterer abhängig, und zwar in der Weise, dass der in Rede stehende Einfluss der Pflanzen um so grösser ist, je dichter dieselben stehen und je üppiger sich ihre oberirdischen Organe entfaltet haben[1]).

Der Einfluss der Streudecke auf die Bodentemperatur ist vornehmlich abhängig von der Mächtigkeit der Schicht, wie aus folgenden Beobachtungen des Verfassers[2]) ersichtlich ist:

1884. Monat.	Bodentemperatur in 15 cm Tiefe (° C.) Nackt.	Strohdecke. 0,5 cm	2 cm	5 cm
April	7,86	7,76	7,64	7,58
Mai	15,08	14,11	13,76	13,31
Juni	14,97	14,58	14,43	14,18
Juli	20,11	19,42	19,06	18,66
August	18,92	18,33	18,23	17,82
September	15,44	15,17	15,25	15,17
Mittel:	**15,40**	**14,86**	**14,73**	**14,45**

1888. Monat.	Bodentemperatur in 12 cm Tiefe (° C.) Nackt.	Moosdecke. 2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm
Mai	15,11	13,25	12,69	12,50	12,42
Juni	18,35	17,28	16,86	16,66	16,55
Juli	16,57	16,17	16,00	15,90	15,83
August	17,84	16,89	16,66	16,56	16,49
September	14,59	14,28	14,34	14,43	14,47
October	7,21	7,28	7,67	8,11	8,24
Mittel:	**14,94**	**14,19**	**14,04**	**14,03**	**14,00**

Aus diesen Zahlen erhellt, dass der Boden während der wärmeren Jahreszeit um so kälter, während der kälteren um so wärmer ist, je mächtiger die obenauf liegende Streuschicht ist.

Die Ursachen der im Vorstehenden mitgetheilten Resultate sind zunächst darauf zurückzuführen, dass durch die Bedeckung des Bodens mit Pflanzen der directe Einfluss der Insolation auf die Bodenoberfläche, je nach der Standdichte der Pflanzen und der Entwickelung ihrer oberirdischen Organe, also je nach der Beschattung,

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XVII. 1894. S. 168.

[2]) Ibid. Bd. XIII. 1890. S. 163.

mehr oder weniger vollständig aufgehoben wird. Dazu kommt, dass durch die ausserordentlich starke Verdunstung von Wasser durch die Blätter viel Wärme gebunden wird, welche während der Vegetationszeit dem Boden verloren geht, sowie dass die Pflanzen zur Unterhaltung der physiologischen Processe (innere Arbeit) Wärme verbrauchen. Ausserdem würde auch die schlechte Wärmeleitungsfähigkeit der zwischen den Pflanzen befindlichen, mehr oder weniger stagnirenden Luftschicht und des reich mit Pflanzenwurzeln durchzogenen, also mit einer grösseren Menge organischer Substanz versehenen Bodens für dessen geringere Erwärmung bei höherer Temperatur als Argumente herangezogen werden können.

Während der kälteren Jahreszeit gestalten sich die Temperaturverhältnisse unter dem Einfluss der Pflanzendecke aus denselben Gründen umgekehrt wie während der Vegetationszeit. Die Pflanzendecke, als schlechter Wärmeleiter, schützt hier den Boden vor stärkerer Erkaltung. Dazu kommt, dass sich bei perennirenden Pflanzen aus den abgestorbenen oberirdischen Organen eine Decke auf der Bodenoberfläche bildet, die vermöge schlechter Wärmeleitungsfähigkeit und hoher specifischer Wärme den Einfluss der Lufttemperatur auf die Erkaltung des Bodens gleichergestalt vermindert. Auf der kahlen Fläche wirkt die äussere Lufttemperatur unmittelbar auf den Boden ein und ist daher diese im Winter kälter als die bewachsene.

Die Wirkungen der leblosen Bodendecken auf die Temperatur des Erdreiches sind auf ähnliche Ursachen zurückzuführen.

An der Hand der bisher mitgetheilten Thatsachen lässt sich nunmehr im Allgemeinen der Einfluss charakterisiren, den die verschiedenen Vegetationsformen auf die Bodentemperatur ausüben. Wenn in Nachfolgendem in dieser Richtung vornehmlich auf die Vegetationszeit Rücksicht genommen wird, so ist der Grund hierfür aus dem Umstande herzuleiten, dass die organischen Processe im Boden hauptsächlich in dieser Periode belangreich sind.

Unter allen Vegetationsformen hat der Wald die grösste abkühlende Wirkung auf den Boden, sowohl in Folge der starken Beschattung, welche die Bäume mit ihrem Kronendach ausüben, als auch wegen des Schutzes, den die aus abgefallenen Nadeln und Blättern gebildete Streudecke dem darunterliegenden Erdreich gewährt. Die lange Vegetationszeit der Gewächse, besonders der immergrünen, ist ebenfalls ein Umstand, der zur Erklärung der beträchtlichen Depression der Temperatur des Waldbodens mit herangezogen werden muss.

Nächst den Waldbäumen tragen die perennirenden Futtergewächse (Luzerne, Esparsette, Klee, Wiesengräser) unter den verschiedenen Culturen am meisten zu einer Erniedrigung der Bodentemperatur bei, wenn auch in geringerem Maasse wie jene, und zwar aus dem Grunde, als diese Gewächse wegen ihres dichten Standes den Boden gut beschatten und eine sehr lange Vegetationsdauer besitzen. Nur nach dem Abmähen tritt dieser Einfluss zurück und macht einer stärkeren Erwärmung des Erdreiches Platz, wie sich aus folgenden Beobachtungen des Verfassers[1]) ersehen lässt:

	Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (° C.)				
	26. Mai.	27. Mai.	28. Mai.	16. Juni.	Mittel.
Gras, nicht abgemäht	14,21	15,35	15,77	14,60	**15,11**
Gras, abgemäht	19,04	20,32	19,22	16,09	**19,53.**

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. VI. 1883. S. 241.

Mit fortschreitender Ausbildung der oberirdischen Organe nimmt die abkühlende Wirkung der Pflanzendecke wieder zu, und dieselbe erreicht ihr Maximum, wenn letztere den Boden wieder vollständig beschattet.

Die Ackergewächse, welche der Körner-, Wurzel-, Knollen- u. s. w. Gewinnung wegen angebaut werden, hindern die Erwärmung des Bodens in einem ungleich geringeren Maasse als die vorbezeichneten Culturen[1]), einerseits, weil sie wegen lichteren Standes den Boden weniger beschatten, andererseits insofern, als sie eine meist kürzere Vegetationsdauer besitzen und der Boden nach der Ernte sich während eines längeren oder kürzeren Zeitraumes im brachliegenden Zustande befindet. Je nach diesen Umständen weisen die Ackerculturen mannigfache Unterschiede auf. Unter diesen setzen die blätterreichen und langlebigen Körnerfrüchte aus der Familie der Leguminosen (Bohnen, Wicken, Erbsen) und der Futtermais die Bodentemperatur am meisten herab, dann folgen etwa die Sommerformen des Rapses und Rübsens, weiters in absteigender Reihe die Getreidearten, während die bei weitem Stande angebauten Knollen- und Wurzelfrüchte und ähnlich behandelte Nutzpflanzen aus der Gruppe der Handelsfrüchte den Wirkungen der Insolation das geringste Hinderniss entgegenstellen.

In gleicher Weise wie die Temperatur- werden *die Feuchtigkeitsverhältnisse des Erdreiches* durch die Bodendecken alterirt. Aus den zahlreichen hierüber vorliegenden Untersuchungen des Verfassers[1]) mögen folgende Ergebnisse zur Illustration dieser Verhältnisse dienen:

	Tiefe der Bodenschicht (cm)	Wassergehalt des Bodens (%) unter Gras	in nacktem Zustande	unter einer 2,5 cm starken Decke von Stalldünger.
18. August 1875.	0—10	11,95	20,88	34,43
	10—40	15,19	22,30	29,98
	40—70	15,35	23,95	26,42
	70—100	16,60	24,51	26,28.

Bezüglich des Einflusses der Waldbäume auf die Bodenfeuchtigkeit wurden vom Verfasser[2]) folgende Daten gewonnen:

Wassergehalt des Bodens im Durchschnitt bis zu 50 cm Tiefe (%).

Jahr.	Fichten ohne Streudecke.	Fichten mit Streudecke.	Birken ohne Streudecke.	Gras.	Nackt.
1887	13,25	15,14	12,19	12,96	16,03
1888	14,14	15,30	12,91	13,47	16,36
1889	15,71	16,66	14,96	15,24	17,56
1890	13,98	14,69	14,65	15,44	18,42
1891	14,76	15,04	13,67	14,56	18,13
Mittel:[3])	**14,37**	**15,37**	**13,66**	**14,49**	**17,29**

[1]) *E. Wollny.* Der Einfluss der Pflanzendecke und Beschattung u. s. w. Berlin. 1877. S. 105—135. — Forschungen u. s. w. Bd. X. 1887. S. 261—321. — Bd. XII. 1889. S. 2—31.

[2]) Forschungen u. s. w. Bd. XVII. 1894. S. 171—180.

[3]) Mittel aus je 117, während der Vegetationszeit angestellten Beobachtungen.

Sieht man zunächst von Nebenumständen ab, so lassen vorstehende Zahlen auf das Deutlichste erkennen,

1. dass der Wassergehalt des mit einer vegetirenden Pflanzendecke bedeckten Bodens in der Wurzelregion während der Vegetationszeit stets niedriger ist als im unbeschatteten Zustande desselben;

2. dass ein mit Stalldünger, Streu und ähnlichen leblosen Gegenständen bedeckter Boden von sonst gleicher Beschaffenheit einen höheren Wassergehalt aufweist als der nackte;

3. dass demnach während der wärmeren Jahreszeit ein durch Dünger, Streu u. s. w. bedeckter Boden am feuchtesten, weniger feucht der nackte und am trockensten der mit einer vegetirenden Pflanzendecke versehene ist.

Diese Schlussfolgerungen wurden durch die Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen anderer Forscher[1]) bestätigt, so dass deren Richtigkeit nunmehr nicht bezweifelt werden kann.

Die Austrocknung des Bodens durch die *Vegetation* ist durch den beträchtlichen Wasserverbrauch seitens der letzteren bedingt. Dadurch, dass die Pflanzen ihre oberirdischen Organe (Blätter) mit grosser Oberfläche in der Luft ausbreiten, tritt eine bedeutende Verdunstung des Wassers, zunächst aus den der Oberfläche nahe gelegenen Zellen ein, und indem diese den Transpirationsverlust von den hinter ihnen und weiter abwärts gelegenen Zellen durch Imbibition und Endosmose zu decken suchen, entsteht in der Pflanze eine Wasserströmung nach den äussersten Theilen von der Wurzel her. Die Wurzel muss daher aus ihrer Umgebung, dem Boden, stets so viel Wasser aufnehmen, als durch die Blätter oder andere mit Spaltöffnungen versehene Organe verdunstet, damit die Gewebe turgescent bleiben und die physiologischen Vorgänge in der Pflanze keine Unterbrechung erleiden. Die zum Ersatz der Verdunstung erforderlichen Wassermengen hat der Boden herzugeben, ausser welchem kein Medium vorhanden ist, durch welches die atmosphärischen Niederschläge den Pflanzen zugänglich würden. Nach den vorliegenden Untersuchungen ist nicht anzunehmen, dass die oberirdischen Organe der Pflanzen, sei es tropfbar flüssiges oder dampfförmiges Wasser, in irgend welchen in Betracht kommenden Quantitäten aufzunehmen im Stande wären. Die Pflanzen sind daher für ihren Bedarf auf das Wasser des Bodens ausschliesslich angewiesen.

Welche enorme Ausdehnung der durch die Verdunstung hervorgerufene Wasserverbrauch annimmt, lässt sich einerseits aus den für Herstellung der Pflanzenproducte erforderlichen Wassermengen, andererseits aus der Grösse der Verdunstung bebauter im Vergleich zu nicht bebauten Bodenflächen ermessen. Nach Versuchen ersterer Art von *H. Hellriegel*[2]) und des Verfassers wurden z. B. bei verschiedenen land-

---

[1]) *G. Wilhelm.* Wochenblatt für Forst- und Landwirtschaft in Württemberg. 1866. S. 174. — Land- und forstwirthschaftliche Zeitung. 1867. S. 81. — *J. Breitenlohner.* Allgem. land- und forstwirthschaftliche Zeitung. 1867. S. 497. — *W. Schumacher. Fühling's* landw. Zeitung. 1872. S. 604—610. — Bezüglich des Einflusses der Waldbäume auf die Bodenfeuchtigkeit ist besonders die Arbeit *E. Ebermayer's* zu vergleichen in Forschungen u. s. w. Bd. XII. 1889. S. 147—174.

[2]) *H. Hellriegel.* Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues. Braunschweig. 1883. S. 622—664.

wirthschaftlichen Culturpflanzen zur Erzeugung von 1 gr Trockensubstanz 262—402 resp. 233—912 gr Wasser[1]) als nothwendig befunden. In den die Verdunstung bebauter und nicht bebauter Flächen betreffenden Untersuchungen stellte Verfasser fest, dass vom 4. Juni bis 27. September 1881 pro 1000 qcm verdunsteten

Grasboden	Nackter Boden
34605	**13719** gr Wasser,

ferner, dass von gleich grosser Fläche vom 15. April bis 31. October 1875 an die Atmosphäre folgende Wassermengen bei einer Niederschlagsmenge von **57253** gr abgegeben wurden:

	Quarzsand.	Lehm.	Torf.
Grasboden	**47355** gr	**51721** gr	**55630** gr
Nackter Boden . .	**18312** „	**33899** „	**30200** „ .

Aus derartigen und zahlreichen anderen diesbezüglichen Untersuchungen geht zur Evidenz hervor, dass die mit vegetirenden Pflanzen besetzten Bodenflächen unter sonst gleichen Verhältnissen bedeutend grössere Wassermengen verdunsten als die nackten. Durch die Pflanzen wird die verdunstende Oberfläche des Bodens gewissermaassen um ein Vielfaches erhöht. Zwar wird die directe Abgabe des Wassers aus dem Boden selbst durch die Pflanzendecke erheblich herabgedrückt, weil dieselbe den Einfluss der Verdunstungsfactoren auf das Erdreich wesentlich herabmindert, aber diese Wirkung kommt dem Wasservorrath im Boden nicht zu Statten, den die Wurzeln der Pflanzen stark in Anspruch nehmen, um die oberirdischen Organe mit den zur Unterhaltung der Transpiration erforderlichen Wassermengen zu versehen. Bei dem nackten Boden ist die directe, d. h. die an der zu Tage liegenden Schicht erfolgende Verdunstung zwar grösser als unter Pflanzen, aber es fällt hier die bedeutende Wasserentnahme fort, welche durch die Vegetation bewirkt wird. Dazu kommt, dass die Niederschläge in den nackten Boden ohne Verlust eindringen, während dieselben auf dem bebauten Lande zum Theil von den Blättern zurückgehalten werden, ferner der Umstand, dass das vegetationslose Land bei eintretender Trockenheit mehr oder weniger abtrocknet und die trockene oberste Schicht eine Verminderung des Wasserverlustes an der Oberfläche herbeiführt.

Die Waldbäume zeigen in Bezug auf die Verdunstung ein den krautartigen Gewächsen analoges Verhalten. So wurden in den einschlägigen Untersuchungen des Verfassers[2]) im sechsjährigen Durchschnitt pro 1 qm Fläche bei einer Niederschlagsmenge von **990,6** Litern pro Jahr verdunstet:

	Fichten ohne Streudecke.	Fichten mit Streudecke.	Birken ohne Streudecke.	Nackt.
Liter Wasser:	**860,8**	**877,7**	**754,0**	**482,0.**

Die geschilderten Wirkungen einer *Decke von abgestorbenen Pflanzentheilen* (Streu, Stalldünger, Stroh u. s. w.) beruhen zunächst darauf, dass die an die Atmosphäre tretende, also verdunstende Oberfläche des Erdreiches durch Aufbringen derartiger Materialien verkleinert und der Einfluss der Verdunstungsfactoren gehemmt wird. Sowohl die Winde als auch die Insolation können unter solchen Umständen ihren austrocknenden Einfluss auf den Boden nicht mehr direct geltend machen. Weiters ist zur Erklärung der in Rede stehenden Erscheinung die Er-

[1]) Der Einfluss der Pflanzendecke und Beschattung. Berlin. 1877. S. 123—125.

[2]) Forschungen u. s. w. Bd. XVII. 1894. S. 202.

niedrigung der Bodentemperatur unter der Einwirkung der Streu- und Düngerdecke, sowie der Umstand heranzuziehen, dass die betreffenden organischen Substanzen eine mit Wasserdampf gesättigte Luftschicht einschliessen, durch welche die Verdunstung aus dem Boden gleichfalls eine Einbusse erleidet. In welchem Grade dies stattfinden kann, weisen folgende Versuche des Verfassers[1]) nach:

Vom 27. Juli bis 5. August 1875.	Verdunstungsmenge in gr pro 1063 qcm Fläche.		
	Sand.	Lehm.	Torf.
Nackt	**3783**	**3339**	**3820**
Mit einer 1,5 cm starken Düngerdecke	**1265**	**1423**	**1915.**

	Verdunstungsmengen in gr pro 1000 qcm Fläche. Humoser Kalksandboden 2,5 cm hoch bedeckt mit					
1888.	Moos.	Fichtennadeln.	Kiefernadeln.	Eichenlaub.	Buchenlaub.	Nackt.
Vom 11.—19. Juli u. 20.—30. August	**470**	**360**	**480**	**270**	**270**	**2030**
1889.						
Vom 12.—20. Juli u. 1.—13. August	**730**	**630**	**680**	**440**	**370**	**2020.**

Hiernach hatte der mit Streu bedeckte Boden beträchtlich geringere Mengen von Wasser verdunstet als der nackte.

In gleicher Weise wie die Temperatur wird auch die Feuchtigkeit des Bodens je nach der ***Beschaffenheit der Decken*** in verschiedener Weise beeinflusst. Von wesentlichem Belang erweist sich zunächst die Dichte des Pflanzenstandes, wie aus folgenden Beobachtungen des Verfassers[2]) ersichtlich wird:

	Wassergehalt des Bodens bis zu 20 cm Tiefe (%).			
Erbse.	Zahl der Pflanzen pro 4 qm	64	100	144
13. Juni 1875.	Bodenfeuchtigkeit . . .	**20,11**	**14,71**	**11,93**
Rübe.	Zahl der Pflanzen pro 4 qm	16	36	49
4. August 1875.	Bodenfeuchtigkeit . . .	**23,14**	**17,53**	**15,66**
Kartoffel.	Zahl der Pflanzen pro 4 qm	16	36	64
16. Juli 1876.	Bodenfeuchtigkeit . . .	**18,04**	**17,01**	**16,58.**

Diese Zahlen thun dar, dass der Boden um so mehr an Wasser erschöpft wird, je enger die Pflanzen stehen.

Im Uebrigen ist die Entnahme des Wassers aus dem Boden seitens der Pflanzen unter sonst gleichen Verhältnissen um so grösser, je kräftiger sich die Pflanzen entwickelt haben. Dies geht nicht allein aus zahlreichen Versuchen des Verfassers[3]), sondern auch aus solchen von *J. H. Gilbert*[4]) angestellten in drastischer Weise hervor, wie folgende Tabelle zeigt:

---

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. X. 1887. S. 297 u. Bd. XIII. 1890. S. 175.

[2]) Ibid. Bd. X. 1887. S. 298.

[3]) Forschungen u. s. w. Bd. X. 1887. S. 298—320.

[4]) On Rainfall, Evaporation and Percolation. Proceedings of the Institution of Civil-Engineers. London. 1876. Vol. XIV. Part. III.

Grasland.		Ungedüngt.	Mit Mineraldünger u. Ammoniaksalzen gedüngt.	Mit Mineraldünger u. salpetersauren Salzen gedüngt.
Heuernte 1870 pro Acre in Cwt.		5¾	29½	56¼
Wassergehalt des Bodens in verschiedenen Tiefen:		%	%	%
am 25. u. 26. Juli 1870.	erste 9 Zoll	10,83	13,00	12,16
	zweite „ „	13,34	10,18	11,80
	drittte „ „	19,23	16,46	15,65
	vierte „ „	22,71	18,96	16,30
	fünfte „ „	24,28	20,54	17,18
	sechste „ „	25,07	21,34	18,06
	Mittel:	**19,24**	**16,75**	**15,19**

Betreffs der Austrocknung des Erdreiches in verschiedenen Abschnitten des Wachsthums führt eine einfache Ueberlegung auf Grund der bisher gewonnenen Anschauungen zu dem Satz, dass im jugendlichen Zustande der Gewächse die geringsten Wassermengen dem Boden entzogen werden, dass die Inanspruchnahme der Bodenfeuchtigkeit mit zunehmender Entwickelung stetig wächst und ihren Höhepunkt bei vollkommener Ausbildung der Pflanzen erreicht, worauf der Wasserbedarf in dem Maasse abnimmt, je mehr sich die Pflanzen der Reife nähern. Dafür sprechen die Ergebnisse sowohl verschiedener Beobachtungen des Verfassers[1]), als auch solcher von *E. Ebermayer*[2]) bei den Waldbäumen. Die Feuchtigkeitsbestimmungen des Bodens führten zu folgendem Durchschnittsresultat:

Wassergehalt des Bodens in 40—80 cm Tiefe (%).

Jahrgänge.	Fichtenjungholz (25 Jahre).	Fichtenmittelholz (60 Jahre).	Haubarer Fichtenbestand (120 Jahre).	Unbepflanzter Boden.
1884/1885.	**16,89**	**15,28**	**18,43**	**20,17**
1885/1886.	**18,65**	**17,30**	**19,71**	**20,46.**

Diesen Zahlen ist zu entnehmen, dass die Bodenfeuchtigkeit im jugendlichen Zustande der Bäume (Jungholz) mehr geschont wird als im mittleren Alter derselben (Mittelholz) und dass weiterhin mit fortschreitender Entwickelung der Gewächse (haubarer Bestand) die Wasserentnahme aus dem Boden eine Verminderung erfährt. Im Uebrigen bestätigen diese Versuchsergebnisse den oben aufgestellten Satz, dass der Boden im nackten Zustande mehr Wasser enthält als im bepflanzten.

Für den Einfluss einer Decke aus abgestorbenen Pflanzentheilen auf die Bodenfeuchtigkeit in der oben geschilderten Weise ist weit mehr, als die besondere Beschaffenheit der betreffenden Materialien, die Mächtigkeit der Deckschicht maassgebend. Inwieweit diese für den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens belangreich ist, lässt sich aus folgenden, aus einigen Versuchen des Verfassers[3]) entnommenen Zahlen ermessen:

---

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XII. 1889. S. 28.
[2]) Ibid. Bd. XII. 1889. S. 150 u. 152.
[3]) Forschungen u. s. w. Bd. XIII. 1890. S. 172 u. 173.

Bodenfeuchtigkeit bis zu 20 cm Tiefe (%).

	Nackt.	Strohdecke.		
		0,5 cm	2 cm	5 cm hoch.
1883 u. 1884.[1])	**19,88**	**23,39**	**25,49**	**26,18.**

	Nackt.	Moosdecke.			
		2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm hoch.
1888 u. 1889.[2])	**17,51**	**20,49**	**20,81**	**21,22**	**21,49.**

Aus diesen Zahlen erhellt, dass ein mit Streu bedeckter Boden während der wärmeren Jahreszeit beträchtlich feuchter ist als ein nackter, und in um so höheren Grade, je mächtiger die obenaufliegende Schicht ist. Dieses Ansteigen der Bodenfeuchtigkeit unter dem Einfluss verschieden starker Decken ist jedoch der Höhe der Schicht nicht proportional, sondern erfolgt, wie aus den Zahlen ersichtlich ist, in einem schwächeren Verhältniss.

Bei Zusammenfassung sämmtlicher Resultate und der daran geknüpften Betrachtungen, so anderweitiger vom Verfasser und *E. Ebermayer* angestellten Beobachtungen kann man bezüglich des Einflusses der land- und forstwirthschaftlichen Gewächse auf die Bodenfeuchtigkeit etwa folgende Schlussfolgerungen ableiten.

Zu den Pflanzen, welche am meisten zu einer Austrocknung des Bodens während der Vegetationszeit beitragen, sind unstreitig die perennirenden dichtstehenden und lange vegetirenden Futterpflanzen des Ackerlandes (Klee, Luzerne, Esparsette, Futtergräser u. s. w.) zu rechnen. Die Wiesen gehören in der Mehrzahl der Fälle deshalb nicht in diese Kategorie, weil sie sich in der Regel an den feuchteren Stellen des Areals befinden, wo ihnen ober- oder unterirdisch Wasser zugeführt wird. Geringere Ansprüche an den Wasservorrath des Erdreiches stellen die blattreichen, der Körnergewinnung wegen angebauten Hülsenfrüchte und einige sogenannte Handelsgewächse, welchen sich in absteigender Reihenfolge die Waldpflanzen anschliessen.

Die Getreidearten stehen letzteren sehr nahe, indem sie dem Boden ebensoviel oder zuweilen weniger Wasser entziehen als diese.

Die bei weitem Stande angebauten Wurzel- und Knollengewächse (Rüben, Kartoffeln), sowie einige ähnlich behandelte Handelsfrüchte dürften den Wasservorrath in geringstem Umfange erschöpfen.

Diese Charakteristik kann nur einen allgemeinen Anhalt gewähren, weil nicht allein innerhalb der einzelnen Gruppen grosse Unterschiede hervortreten, sondern auch bei einem und demselben Nutzgewächs die Wirkungen desselben auf die Bodenfeuchtigkeit von äusseren Umständen abhängig sind.

Für die ausserordentliche Inanspruchnahme des Wasservorrathes des Ackerlandes seitens der perennirenden Futtergewächse spricht vor Allem der Umstand, dass diese sehr dicht stehen, sich fast fortwährend in einem stark transpirirenden Zustande befinden und eine lange Vegetationsdauer besitzen. Die Körnerfrüchte verbrauchen vergleichsweise ungleich weniger Wasser, weil sie eine kürzere Zeit den Boden bedecken und von der Ernte bis zum Wiederanbau der folgenden Frucht der Boden sich mehr oder weniger lange Zeit in nacktem Zustande befindet. Dazu kommt, dass diese Gewächse weniger Wasser gegen die Reife hin bedürfen. Im Uebrigen

[1]) Mittel aus je 29 Einzelbestimmungen.
[2]) Mittel aus je 36 Einzelbestimmungen.

ist die Erschöpfung des Bodens an Wasser durch diese Pflanzen von der Entwickelung der Blätter abhängig; die stärker belaubten Hülsenfrüchte entziehen dem Erdreich mehr Wasser als die Getreidearten, bei welchen die Ausbildung des Blattapparates vergleichsweise viel schwächer ist. Innerhalb dieser Gruppen machen sich wiederum mannigfache Unterschiede geltend. So ist z. B. der Wasserbedarf der aufrecht wachsenden langlebigen Arten aus der Familie der Leguminosen (Acker-, Buschbohnen u. s. w.) grösser als der der sich lagernden Species von kürzerer Vegetationsdauer (Erbse, Wicke), und bei den Getreidearten dürfte die Wasserentnahme aus dem Erdreich bei dem Körnermais und der Mohrhirse, die bei weiterem Stande angebaut werden, geringer sein als bei den dichter angebauten. Unter letzteren ist wiederum der Wasserverbrauch bei dem Hafer und Weizen stärker als bei Gerste und am geringsten bei dem Roggen. Das Verfahren, die Wurzel- und Knollenfrüchte bei lichtem Stande zu cultiviren, bedingt eine geringere Erschöpfung des Wasservorrathes im Boden. Auch hierin machen sich bei diesen Früchten Unterschiede bemerkbar, die sich darin documentiren, dass die Rüben mehr Wasser verbrauchen als die Kartoffeln und dass unter letzteren die stark belaubten die Feuchtigkeit in höherem Maasse in Anspruch nehmen als jene mit schwächerer Krautentwickelung.

Bei den Waldbäumen ist, abgesehen von der Bestandesdichte, der Gesammtwasserbedarf während eines Jahres bei den immergrünen Formen (Coniferen) grösser als bei den Laubhölzern. Diese können allerdings während der Vegetationszeit den Boden mehr an Wasser erschöpfen als jene. Bei dem Vorhandensein einer Streudecke stellt sich zwar der Wassergehalt des Erdreiches etwas höher als dort, wo dieselbe entfernt ist, die Unterschiede in den Feuchtigkeitsmengen zwischen beiden Bodenzuständen sind jedoch gering, unter Umständen sogar beseitigt oder treten in entgegengesetzter Richtung in die Erscheinung, weil in jenem Fall durch die bei der Zersetzung der organischen Substanzen in der Streudecke gebildeten und dem Boden durch die eindringenden atmosphärischen Wässer zugeführten Nährstoffe das Wachsthum der Pflanzen sowohl in den ober- wie unterirdischen Organen und demgemäss ihr Transpirationsvermögen gefördert ist.

Aus dem Mitgetheilten geht zur Genüge hervor, dass die beiden für die Zersetzung der organischen Stoffe wichtigen Factoren, die Wärme und die Feuchtigkeit, durch die verschiedenen Vegetationsformen in der mannigfachsten Weise abgeändert werden, und dass es daher grosse Schwierigkeiten bietet, die Beziehungen der verschiedenen Culturen zu den in Rede stehenden Erscheinungen in jedem Falle richtig zu beurtheilen, zumal zu den bisher betrachteten Momenten noch zwei andere hinzutreten, nämlich die Bearbeitung und die Düngung des Bodens bei den Feldfrüchten. Die einschlägigen Wirkungen durch Feststellung des Kohlensäuregehaltes der Bodenluft ermessen zu wollen[1]), wäre ein Verfahren, welches insofern zu ganz unrichtigen Vorstellungen führen würde, als nicht allein für die Menge der jeweils im Erdreich auftretenden freien Kohlensäure, abgesehen davon, ob der Boden gedüngt wird oder nicht, der bei den verschiedenen Bodenbenutzungen äusserst wechselnde physikalische Zustand des Erdreiches bezüglich der Bildung, wie auch des Austrittes des Gases[2]) maassgebend ist, sondern als auch unter dem Einfluss der

[1]) *E. Ebermayer.* Forschungen u. s. w. Bd. XIII. 1890. S. 23—49.

[2]) Forschungen u. s. w. Bd. IX. 1886. S. 165—194.

verschiedenen Bestandesarten die Ansammlung von organischer Substanz in der Bodenmasse in einem ausserordentlich verschiedenen Grade erfolgt und die Zersetzungsfähigkeit dieser Stoffe grosse Differenzen aufweist. Nur in dem einzigen Fall, wo alle äusseren Umstände gleich sind, wird von diesem Verfahren auf die Gewinnung eines für die Beurtheilung des Einflusses der Vegetationsformen auf die organischen Prozesse des Bodens verwerthbaren Resultates gerechnet werden dürfen.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, wird man zur Eruirung des Einflusses der Bodendecken auf die Intensität des Zerfalles der organischen Bestandtheile nur eine solche Versuchsanordnung wählen dürfen, bei welcher der Boden eine durchaus gleiche Beschaffenheit besitzt und die Pflanzendecke überdies noch keine Veränderung in dem Humusgehalt des Erdreiches hervorgerufen hat. Versuche, welche diesen Bedingungen entsprechen, wurden vom Verfasser[1]) in der Weise ausgeführt, dass 0,5 m hohe Blechcylinder von 0,1 qm Querschnitt, welche ringsum von Erde umgeben waren und unten mit einer für den Abfluss des überflüssigen Wassers bestimmten Röhre, mit (je 60 kg) zuvor sorgfältig gemischtem humosen Kalksand beschickt wurden, worauf die Oberfläche des Bodens in dem einen Apparat mit einer 1,5 cm hohen Strohdecke, in einem zweiten Cylinder mit einer Rasendecke versehen wurde, während jene in einem dritten Gefäss nackt blieb. Die aus einer Tiefe von 25 cm während des Sommers aspirirte Bodenluft enthielt folgende Kohlensäuremengen:

Datum.	1000 Vol. Bodenluft enthalten Vol. Kohlensäure.			Relatives Verhältniss.		
1878.	Gras.	Strohdecke.	Nackt.	Gras.	Strohdecke.	Nackt.
18. Mai	3,735	7,364	6,924	1	2,04	1,84
25. „	1,137	5.172	5,257	1	4,55	4,62
1. Juni	1,415	5,734	7,570	1	4,05	5,35
8. „	3,809	6,812	7,914	1	1,77	2,07
15. „	0,502	7,308	7,450	1	14,56	14,84
22. „	1,386	6,346	7,149	1	4,58	5,11
1. Juli	0,877	4,542	7,232	1	5,18	8,25
8. „	2,455	4,910	7,859	1	2,00	3,20
13. „	1,088	4,716	6,748	1	4,33	6,20
20. „	2,334	8,461	12,984	1	3,62	5,06
27. „	2,009	5,527	9,762	1	2,75	4,86
3. August	4,019	3,889	8,470	1	0,96	2,11
10. „	2,068	8,046	11,442	1	3,90	5,52
17. „	1,831	5,632	9,820	1	3,08	5,36
24. „	2,401	14,628	21,760	1	6,09	9,06
31. „	4,009	11,309	11,167	1	2,82	2,78
7. Septbr.	3,428	11,233	14,005	1	3,28	4,09
17. „	0,640	7,250	8,246	1	11,33	12,88
21. „	0,770	7,001	7,490	1	9,09	9,73
Mittel:	**2,101**	**7,152**	**9,434**	**1**	**3,40**	**4,49**

In dem Betracht, dass der Kohlensäuregehalt der Bodenluft unter den vorliegenden Bedingungen als Maassstab für die Intensität des Zersetzungsprocesses der organischen Stoffe im Boden dienen kann, wird aus diesen Zahlen gefolgert werden müssen,

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. III. 1880. S. 1–14.

dass in dem mit Pflanzen bedeckten Boden der Zerfall der organischen Stoffe ungleich langsamer von Statten geht als in dem mit einer aus abgestorbenen Pflanzentheilen bestehenden Decke versehenen, während in dem nackten Erdreich fraglicher Process sich am intensivsten vollzieht.

Diese Unterschiede werden offenbar durch solche in der Erwärmung und Durchfeuchtung hervorgerufen. Indem das nackte Land, wie oben nachgewiesen wurde, wärmer und feuchter ist als das mit einer vegetirenden Pflanzendecke bedeckte, muss nothwendigerweise in jenem die Verwesung der organischen Bestandtheile in wesentlich stärkerem Grade erfolgen als in diesem. Dafür, dass das mit einer Stroh-, Dünger- oder Streudecke versehene Erdreich, trotz seines im Vergleich zum brachliegenden höheren Wassergehaltes, eine geringere Intensität des Zerfalls der organischen Stoffe aufweist, ist dem Umstande vor Allem zuzuschreiben, dass jenes eine niedrigere Temperatur besitzt als dieses.

Wird das nackte Land, wie bei der Brachehaltung in der landwirthschaftlichen Praxis, ein oder mehrere Mal gelockert und dadurch der Einfluss des Sauerstoffs erhöht, so dürfte unter derartigen Umständen dasselbe zu einer noch lebhafteren Verwesung der Humusstoffe beitragen, als dies in den mitgetheilten Versuchen der Fall war.

Natürlich erstreckt sich der Einfluss der Pflanzendecke nicht nur auf die Oxydation des Kohlenstoffs, sondern auch auf jene des bei dem Zerfall der organischen Stoffe aus den stickstoffhaltigen Bestandtheilen derselben sich abspaltenden Ammoniaks. Dass dies in der That der Fall ist, weisen einige von *R. Warington*[1]) angestellte Versuche nach, welcher nach der Ernte (1878) die Menge des Nitratstickstoffs bei Böden feststellte, die theils landwirthschaftliche Culturpflanzen getragen hatten, theils im brachliegenden Zustande erhalten wurden. Hierbei fand er Folgendes:

Nitratstickstoff in kg per Acre.

Bodenschichten.	Vollständige Düngung.		Superphosphatdüngung.		Ungedüngt.	
	Bohnen.	Brache.	Bohnen.	Brache.	Weizen.	Brache.
Erste 9 Zoll	5,4	13,5	3,3	10,0	1,2	12,8
Zweite 9 „	3,8	8,5	1,5	6,3	Spur	2,3
18 Zoll:	**9,2**	**22,0**	**4,8**	**16,3**	**1,2**	**15,1**

Wenngleich diese Versuche für den Einfluss der Pflanzendecke auf die Nitrification im Boden nicht streng beweisend sind, insofern als die Gewächse während ihrer Entwickelung Nitrate aufnehmen und dem Boden entziehen, so darf doch angenommen werden, dass die in vorstehenden Zahlen hervortretenden Unterschiede nicht lediglich hierdurch bedingt sind, und dies um so weniger, als einerseits die Bestimmungen nach der Ernte, also nach Schluss einer Periode ausgeführt wurden, während welcher die Ernährung der Pflanzen aus dem Boden nur eine geringe ist, und andererseits die brachliegende Parcelle sicherlich einen Theil der gebildeten Nitrate durch Auswaschung verloren hatte (S. 4 und Abschnitt III). Dies berücksichtigend, wird man die Ergebnisse jener Versuche, ohne denselben damit irgendwelche falsche Deutung zu geben, auf die Unterschiede in der Bodentemperatur und Feuchtigkeit zurückführen und dahin präcisiren können,

[1]) Journ. of the Soc. of Arts. 1882. T. XXX. p. 532—544.

dass durch die Pflanzendecke die Nitrification im Boden eine erhebliche Verminderung erfährt.

Die hier geschilderten Gesetzmässigkeiten haben indessen nur Giltigkeit für die wärmere Jahreszeit, während der kälteren machen sie sich im entgegengesetzten Sinne geltend. Dies ergiebt sich aus einigen Versuchen des Verfassers[1]), welche in der oben (S. 175) näher beschriebenen Anordnung ausgeführt wurden. Während kühler Witterung (im Winter und Frühjahr) enthielt nämlich die Bodenluft (pro 1000 Vol.) folgende Mengen (Vol.) Kohlensäure:

	Gras.	Nackt.
4. November 1878	0,544	0,408
22. März 1879	1,938	1,213
5. April „	0,872	0,349
19. „ „	1,382	0,276
Mittel:	**1,184**	**0,561**

Diese Unterschiede sind allerdings nicht bedeutend, ebenso sind die Werthe für die Kohlensäuremenge gering, was nicht Wunder nehmen kann, wenn man berücksichtigt, dass auch die Differenzen zwischen dem bebauten und nackten Boden bezüglich der Temperatur und Feuchtigkeit des Bodens während der betreffenden Jahreszeit gering und die Wärme für eine ergiebige Zersetzung mangelt, aber die mitgetheilten Zahlen zeigen doch deutlich, dass die beiden für den Zerfall der organischen Stoffe wichtigen Factoren zur Geltung kommen und zwar umgekehrt wie im Sommer.

Der Grad der Beeinflussung der Zersetzungsvorgänge im Boden ist, wie aus den obigen Mittheilungen über die Beziehungen der Bedeckung des Bodens zu dessen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen im Zusammenhalt mit vorstehend mitgetheilten Thatsachen geschlossen werden muss, von der Beschaffenheit der Decke abhängig. Da die Pflanzen den Boden in um so höherem Grade an Wasser erschöpfen und vor dem Einfluss der Sonnenstrahlen schützen, je dichter sie stehen, so wird hiernach schon a priori die Schlussfolgerung abzuleiten sein, dass unter übrigens gleichen Umständen der Kohlensäuregehalt der Bodenluft in demselben Verhältniss abnehmen werde. Diese Voraussetzung wird durch die Resultate eines Experiments des Verfassers[2]) bestätigt, wie aus folgenden Zahlen ersichtlich ist:

	In 1000 Vol. Bodenluft waren enthalten Kohlensäure (Vol.)			
Zahl der Haferpflanzen:	3	6	12	24 pro 0,1 qm
20. Juli 1879	3,76	4,92	3,12	2,42
30. „ „	6,89	2,23	1,18	1,47
9. August „	4,26	3,07	2,62	1,71
Mittel:	**4,97**	**3,44**	**2,31**	**1,87**

Ohne dass es eines besonderen ziffernmässigen Nachweises bedarf, wird im Verfolg der aus diesen Zahlen deutlich sich ergebenden Gesetzmässigkeit weiters gefolgert werden können, dass die Zersetzung der organischen Stoffe im bepflanzten Boden

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. III. 1880. S. 9.
[2]) Forschungen u. s. w. Bd. III. 1880. S. 15.

um so mehr beeinträchtigt wird, je üppiger sich die Gewächse entwickelt haben. Derartige Thatsachen und Erwägungen lassen die Schlussfolgerung berechtigt erscheinen, **dass die Pflanzendecke in dem Maasse zu einer Verminderung des Zerfalls der organischen Bestandtheile des Bodens Veranlassung giebt, als die Pflanzen dichter stehen und sich kräftiger entwickelt haben.**

Die beiden zunächst in Betracht kommenden Factoren, Wärme und Feuchtigkeit, haben für die im Boden sich abspielenden Processe, je nachdem derselbe bedeckt ist oder nicht, offenbar eine verschiedene Bedeutung. In dem trockeneren Boden unter der Pflanzendecke hat das Wasser, wenn auch nicht ausschliesslich, so doch grösstentheils, den maassgebendsten Einfluss auf die Zersetzungsvorgänge, während in dem nackten und mit abgestorbenen Pflanzentheilen bedeckten Boden letztere hauptsächlich dem Gange der Temperatur folgen. Diese Schlussfolgerung lässt sich zum Theil aus den Ergebnissen der angeführten Versuche des Verfassers, im Uebrigen aber aus den oben mitgetheilten Thatsachen betreffs der Beziehungen der Temperatur und der Feuchtigkeit zu dem Zerfall der organischen Stoffe ohne Weiteres herleiten.

Auf Grund vorstehend charakterisirter Naturerscheinungen wird sich annähernd ermessen lassen, welchen Einfluss die verschiedenen Vegetationsformen sowie verschieden mächtigen Streudecken auf die in Rede stehenden Vorgänge ausüben, wenn man dabei in Betracht zieht, inwieweit durch dieselben die Erwärmung und Durchfeuchtung des Bodens eine Abänderung erfahren. Leider lassen sich diese Einwirkungen bei langlebigen Pflanzen (Waldbäume, Wiesengräser, perennirende Futterpflanzen) nicht durch Bestimmung des Gehaltes der Bodenluft an freier Kohlensäure zur Darstellung bringen, weil, wie oben dargethan und an dieser Stelle nochmals betont sein mag, bei derartigen Gewächsen die Menge der organischen Stoffe im Boden sich im Laufe der Zeit ändert (Abschnitt II) und überdies ein nacktes, durch Decennien von allen Pflanzen rein gehaltenes, nicht gedüngtes Land schwerlich zu beschaffen sein dürfte. Wegen solcher Unzulänglichkeiten, sowie Mangels von längere Zeit hindurch fortgeführten comparativen Bodenanalysen, welche allein in fraglicher Richtung Auskunft zu geben vermöchten, wird man sich vorerst darauf beschränken müssen, sich ein Urtheil über die einschlägigen Verhältnisse an der Hand der vorliegenden Untersuchungen über den Einfluss der Bedeckung auf die Temperatur und Feuchtigkeit mit Berücksichtigung etwaiger Lockerung des Bodens zu construiren.

Die hier in Betracht kommenden Vegetationsformen werden zweckmässig in zwei Kategorien gebracht, welche sich in Rücksicht auf die Bodenbearbeitung eigentlich von selbst ergeben. Der deprimirende Einfluss, den alle Decken aus vegetirenden Pflanzen in mehr oder minderem Grade auf die Zersetzung der organischen Bestandtheile im Boden ausüben, wird bei der Mehrzahl der Ackerculturen durch die Lockerung des Bodens und durch die Brachehaltung zwischen der Aberntung und dem Anbau der folgenden Frucht zwar nicht beseitigt, aber doch wesentlich gemildert gegenüber jenen Bodennutzungen, bei welchen höchst selten oder niemals eine Bearbeitung des Erdreiches vorgenommen wird. Von Nebenumständen abgesehen, wird daher gefolgert werden dürfen, dass caeteris paribus die Zersetzungsvorgänge in allen Ackerländern ungleich intensiver verlaufen als in solchen Böden, welchen eine Lockerung nur selten (Weiden-, Esparsette-

und Luzernefelder) oder niemals (Wiesen- und Waldböden) zu Theil wird. Innerhalb dieser beiden Gruppen machen sich nach Maassgabe der seitens der betreffenden Gewächse ausgeübten Beschattung, sowie der Vegetationsdauer mannigfache Unterschiede geltend, welche sich etwa wie folgt charakterisiren lassen.

Unter den einer relativ stärkeren Zersetzung der organischen Bestandtheile des Bodens Vorschub leistenden *Ackerculturen* sind jene an erster Stelle zu nennen, bei welchen die Pflanzen nicht allein bei einem weiten Stande angebaut, sondern auch die Böden während der Vegetationszeit gelockert werden. Hierher sind vor Allem die sogen. Hackfrüchte, besonders die Wurzel- und Knollenfrüchte zu rechnen, welche, wie oben gezeigt, den Wasservorrath im Boden vergleichsweise am meisten schonen und zu einer verhältnissmässig stärkeren Erwärmung der überdies gelockerten Vegetationsschicht beitragen. In letzterer ist in Folge dieser günstigen Umstände der Zerfall der organischen Stoffe in der Ackererde innerhalb der durch die Pflanzendecke überhaupt gezogenen Grenzen am intensivsten. Dann folgen entsprechend der oben geschilderten Beeinflussung der Temperatur und Feuchtigkeit des Erdreiches in absteigender Reihe die Getreidearten, weiters die kurzlebigen und sich lagernden Hülsenfrüchte (Erbse, Wicke), hierauf die langlebigen, aufrecht wachsenden Pflanzenarten derselben Gruppe (Ackerbohne, Buschbohne) sowie einige Handelsfrüchte, während die mit perennirenden Pflanzen (Klee, Esparsette, Luzerne, Gräser) besetzten Böden nach Maassgabe der Vegetationsdauer der betreffenden Nutzgewächse den langsamsten Verlauf der Zersetzungsprocesse ihrer organischen Bestandtheile aufzuweisen haben, nicht nur wegen ihres geringen Wassergehaltes und ihrer niedrigen Temperatur, sondern auch weil sie, so lange ihnen Ernten entnommen werden, keinerlei Bearbeitung unterzogen werden.

Ungleich träger als in den zuletzt betrachteten Ländereien, welche nach Umfluss einer gewissen Zeit wieder zum Anbau kurzlebiger Ackergewächse herangezogen und alsdann wieder gelockert werden, vollzieht sich der Zerfall der organischen Bestandtheile in jenen Bodenarten, welche wie die Wälder und Wiesen permanent mit einer Decke vegetirender Pflanzen versehen sind. Bei den Waldböden tritt zu der Wirkung, welche die Pflanzen ausüben, noch jene der Streudecke mit hinzu, und zwar macht sich diese weniger durch Abänderung der Feuchtigkeitsverhältnisse als durch solche der Bodenerwärmung geltend. Wie bereits oben ausführlicher gezeigt wurde (S. 167), wird letztere noch weiter herabgedrückt, als dies ohnehin schon durch die seitens der Waldbäume ausgeübte Beschattung geschieht. **Aus diesen Gründen zersetzen sich die organischen Stoffe in den Waldböden unter sonst gleichen Umständen weit langsamer als in den Ackerböden.**

Der Einfluss der *forstlichen Gewächse* in fraglicher Beziehung ist vornehmlich von dem Alter der Gewächse, der Bestandesdichte und der Mächtigkeit der Streuschicht abhängig. Im jugendlichen Zustande, wo die Beschattung noch eine schwache und die Inanspruchnahme der Bodenfeuchtigkeit eine geringe ist, vollziehen sich die Zersetzungsvorgänge im Boden relativ schnell; die Intensität derselben erfährt aber in dem Maasse sich die Bäume entwickeln eine stetige Verminderung, die dann ihren Höhepunkt erreicht, wenn der vollständige Bestandesschluss erreicht und der Boden mit einer mehr oder minder starken Streuschicht bedeckt ist. Späterhin treten wiederum günstigere Bedingungen für die Zersetzung ein, weil die Holzpflanzen

in höherem Alter, wie oben (S. 172) dargethan wurde, ein geringeres Transpirationsvermögen besitzen und dem Boden in der Folge weniger Wasser entziehen als in mittleren Stadien der Entwickelung.

Die natürliche, sowie durch künstliche Eingriffe hergestellte Standdichte der Forstgewächse (Bestandesschluss) hat natürlich auf die im Boden stattfindenden Zersetzungsvorgänge gleichergestalt wie das Entwickelungsstadium einen ausgesprochenen Einfluss. Je dichter die Pflanzen stehen und je kräftiger sie sich entwickelt haben, um so mehr werden die Bodenfeuchtigkeit und die Bodentemperatur herabgedrückt und demgemäss die Intensität der Zersetzungsvorgänge im Boden abgeschwächt und umgekehrt. Alle Maassnahmen, durch welche ein lichterer Stand der Pflanzen (Durchforstungs-, Lichtungshiebe, Aufästungen u. s. w.) bewirkt wird, haben eine stärkere Zersetzung der organischen Bodenbestandtheile zur Folge, in dem Grade, als durch jene Proceduren einer stärkeren Erwärmung des Bodens Vorschub geleistet und die Wasserentnahme aus demselben seitens der Pflanzen vermindert wird.

In wie weit die Streuschicht bei verschiedener Mächtigkeit den Gang der Zersetzungsprocesse im Boden etwa zu beeinflussen vermag, wird sich aus dem Umstande ermessen lassen, dass mit der Zunahme der Höhe der Deckschicht zwar dem Boden eine grössere Feuchtigkeitsmenge zu Gute kommt und die directe Verdunstung aus demselben in gleichem Maasse vermindert wird[1]), dass aber dieser Einfluss wegen der mit Zunahme der Streumasse entsprechend geförderten Entwickelung der Waldpflanzen mehr oder weniger ausgeglichen wird und demgemäss die in gleicher Richtung verringerte Bodenerwärmung fast ausschliesslich in Betracht kommt. Bei den bekannten Beziehungen dieser zu den Zersetzungsprocessen bietet die Beantwortung vorwürfiger Frage keine Schwierigkeit.

Während die im Boden der Wälder enthaltenen organischen Bestandteile sich aus den angeführten Gründen verhältnissmässig langsam zersetzen, befinden sich jene, welche auf dem Boden in der Streudecke vorhanden, unter ungleich günstigeren Bedingungen, insofern diese dem freien Zutritt der atmospärischen Luft ausgesetzt sind und sich in Folge dessen kräftig oxydiren können. Gleichwohl ist die Entmischung der betreffenden organischen Stoffe weniger intensiv als diejenige der Ackererde, nicht allein wegen meist sehr grossen Wassergehaltes und vergleichsweise geringerer Verwesungsfähigkeit, sondern auch in Folge schwächerer Erwärmung, bedingt durch die seitens des Laubdaches der Waldbäume ausgeübte Beschattung. Je nach dem Grade des Einflusses letzterer wird die Verwesung der Streumaterialien in verschiedener Intensität verlaufen, bei vollständigem Bestandesschluss langsamer, bei lichtem Stande rapider, so lange genügende Feuchtigkeit in der Masse vorhanden ist, dagegen in nur mässigem Umfange, wenn unter solchen Verhältnissen in Folge besonderer Witterungsumstände der Streuschicht grosse Wassermengen durch Verdunstung verloren gehen.

In dem Boden der *Wiesen* dürfte die Zersetzung der organischen Stoffe im Vergleich zu allen übrigen Vegetationsformen am trägsten von Statten gehen, weil durch die massenhafte Ausbreitung der Wurzeln der Gräser in den oberen Bodenschichten durch den durch die tiefe Lage der betreffenden Flächen bedingten unter- resp. oberirdischen Zufluss von Wasser der Luftzutritt zum Boden in ausserordentlichem Grade

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. X. 1887. S. 428–446.

gehemmt und die Temperatur des Erdreiches eine niedrige ist. Deshalb geht die Entmischung der organischen Bestandtheile des Wiesenbodens nicht allein viel langsamer vor sich als in dem trockeneren Waldboden, in welchem ausserdem die Pflanzenwurzeln, weil sie zum Theil tiefer eindringen, weniger in den oberen Partien des Erdreiches angehäuft sind, sondern sie unterliegen auch meist einer Zersetzung, welche als Fäulniss anzusprechen ist.

Versumpfte Boden, wie z. B. die *Moore*, welche permanent bis zur Oberfläche mit Wasser erfüllt sind, weisen wegen des vollständigen Luftabschlusses nur Fäulniss der in ihnen enthaltenen organischen Bestandtheile auf.

Wenn schliesslich noch die Frage des Einflusses der verschiedenen Vegetationsformen auf die Nitrification besonders zur Discussion herangezogen wird, so ist die Berechtigung hierzu durch die Thatsache gegeben, dass dieser Process in fraglicher Richtung einige Besonderheiten darbietet. In der Ackerkrume, welche öfter bearbeitet wird, ist die Umwandlung des Ammoniaks in salpetersaure Salze überall wahrnehmbar und vollzieht sich um so energischer, je weniger die Pflanzen den Wasservorrath des Bodens in Anspruch nehmen und die Temperatur herabdrücken. Am schwächsten vollzieht sich dieser Vorgang ohne Zweifel in demjenigen Ackerlande, welches mit perennirenden Futterpflanzen besetzt ist und in diesem mag, besonders wenn dasselbe eine geringe Permeabilität besitzt, bei längerem Liegenlassen im unbearbeiteten Zustande, häufig die Nitrification vollständig unterbrochen und durch die Denitrification ersetzt werden.

Bei Wald-, Wiesen- und Moorböden sind die Bedingungen zum Eintritt und zur Unterhaltung der Salpeterbildung überhaupt nicht vorhanden, weil, wie oben (S. 88) nachgewiesen wurde, diese Bodenarten in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle keine nitrificirenden Organismen enthalten. Die Versorgung der Gewächse mit den zur Bildung ihrer organischen Substanz erforderlichen stickstoffhaltigen Nährstoffen muss demnach in einer anderen Weise erfolgen als bei den Ackergewächsen, die vornehmlich ihren Stickstoffbedarf aus den salpetersauren Salzen des Bodens decken.

Dass die Gräser im Stande sind, den Stickstoff aus Ammoniak zu entnehmen, ergiebt sich aus den Culturen dieser Pflanzen in Nährstofflösungen, welche nur Ammoniak neben den erforderlichen Mineralsalzen enthalten; sie entwickeln sich unter solchen Bedingungen ebenso gut als in dem Falle, wo ihnen dieselbe Menge von Stickstoff in Form von Nitraten geboten wird[1]). Ein gleiches Verhalten mögen auch die Waldbäume zeigen, wie vielleicht aus der Thatsache geschlossen werden darf, dass sich in dem Safte der Bäume gewisse Mengen von Ammoniaksalzen vorfinden[2]).

Ausser der Ernährung mit Ammoniaksalzen kommt bei den in Rede stehenden Pflanzen noch jene durch die organischen stickstoffhaltigen Bestandtheile des Bodens in Betracht. Man hat zwar bisher angenommen, dass die höheren grünen Gewächse bezüglich der Deckung ihres Kohlenstoff- und Stickstoffbedarfs lediglich auf die Kohlensäure der Luft resp. auf die Ammoniak- und salpetersauren Salze angewiesen und nicht befähigt seien, organische Stoffe zu diesem Zweck zu verwerthen, allein verschiedene Beobachtungen, welche neuerdings angestellt worden sind, machen es in hohem Grade wahrscheinlich, dass die Pflanzen organische Stoffe zum Aufbau

[1]) *E. Bréal.* Annales agronomiques. T. XIX. 1893. Nr. 3. p. 274—293.
[2]) *E. Ebermayer.* Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1888. August.

ihres Organismus direct (Gräser[1]) oder indirect mit Hilfe eines die Oberfläche der Saugwurzeln überziehenden, aus Mycelfäden bestehenden Pilzmantels, der sogen. Micorrhiza (Waldbäume[2]) verwenden können (Abschnitt II). Betreffs der Stickstoffernährung der Wiesengräser und Holzgewächse scheinen besonders die in den von diesen Pflanzen besetzten Böden in grösserer Menge vorkommenden amidartigen Verbindungen eine grosse Rolle zu spielen, da nach den Beobachtungen *A. Baumann*'s[3]) die aus denselben durch Natronlauge abgespaltene Ammoniakmenge den wirklichen Ammoniakgehalt des Bodens um das Zehn- bis Zwanzigfache übertreffen kann.

4. Das Wasser.

Wenngleich man neuerdings, ausgehend von der Frage über die Zulässigkeit der Einleitung der Fäcalien in die Wasserläufe, zahlreiche Beobachtungen über das Schicksal der organischen Stoffe im Wasser angestellt hat, so ist man doch keineswegs in dieser Richtung zu einem allseitig brauchbaren Resultat gelangt, und zwar aus dem Grunde, als man einerseits den Gegenstand einer systematischen, alle Nebenumstände genügend berücksichtigenden Behandlung zu unterziehen unterlassen, andererseits aber auch vielfach die Ergebnisse der zum grossen Theil unzusammenhängenden Untersuchungen nach vorgefassten Meinungen verwerthet hat. Unter derartigen Umständen wird man sich nicht wundern dürfen, dass die Ansichten derjenigen, welchen durch Beruf und Interesse die Aufgabe zufällt, die einschlägigen Naturerscheinungen aufzuklären, zur Zeit noch sehr weit auseinandergehen.

Angesichts der vorstehend geschilderten Unzulänglichkeiten soll hier untersucht werden, inwieweit die im Bisherigen entwickelten Gesetzmässigkeiten geeignet sind, zur Beurtheilung der Frage des Verhaltens der organischen Stoffe im Wasser einen Anhalt zu gewähren und zwar dem Zweck dieser Zeilen entsprechend lediglich in Rücksicht auf die Interessen der Bodencultur.

Zunächst wird nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntniss von den Zersetzungserscheinungen ganz allgemein, also abgesehen von Nebenumständen, die Behauptung aufgestellt werden dürfen, dass alle organischen Stoffe im Wasser der Luft in ungleich geringerem Grade ausgesetzt sind als an den übrigen Oertlichkeiten ihres Vorkommens, die versumpften Ländereien ausgenommen. ***Dieser beschränkte Luftzutritt muss nothwendiger Weise zur Folge haben, dass die Verwesung der organischen Stoffe in dem Wasser nicht allein beschränkt, sondern häufig durch die Fäulniss derselben verdrängt wird,*** also durch jenen Process, welcher in mehr oder minderem Grade die Verflüchtigung der organischen Substanz hintanhält und der Ansammlung letzterer in entsprechendem Maasse Vorschub leistet.

Inwieweit der eine oder andere der beiden wesentlich von einander verschiedenen Processe gegebenen Falls das Uebergewicht gewinnt, ist offenbar von verschiedenen äusseren Umständen abhängig, vor Allem von dem Grade des Luftzutrittes, demnächst von der Menge und Vertheilung der organischen Stoffe im Wasser, sowie

---

1) ***E. Bréal.*** Annales agronomiques. T. XX. 1894. Nr. 8. p. 353—370.

2) ***A. B. Frank.*** Berichte der deutschen botan. Gesellschaft. Bd. III. 1885. S. 128. — Bd. V. 1887. S. 359. — Bd. VI. 1888. S. 248. 169.

3) ***A. Baumann.*** Ueber die Bestimmung des im Boden enthaltenen Ammoniakstickstoffs und über die Menge des assimilirbaren Stickstoffs im unbearbeiteten Boden. Habilitationsschrift. 1886.

auch von dem Verbrauch von solchen Substanzen seitens der im Wasser vorkommenden Thiere und Pflanzen.

Für die jeweils im Wasser vorkommenden Sauerstoffmengen ist der Umfang maassgebend, in welchem dieses Gas einerseits aufgenommen, andererseits verbraucht wird.

Offenbar ist bei einem und demselben Wasser die Aufnahme von Luft in den höheren Schichten grösser als in den tieferen, weil jene der Atmosphäre näher gelegen sind und die Strömungen des Wassers in verticaler Richtung sehr langsam erfolgen und häufig genug, namentlich bei höherer äusserer Temperatur aufgehoben sind. Die in der Schwebe befindlichen organischen Bestandtheile befinden sich daher unter günstigeren Verwesungsbedingungen als jene der tieferen Partien oder der am Boden abgesetzten, in welchen in der Regel die Fäulniss der Verwesung Platz machen muss. Letzterer Process muss natürlich um so mehr unter sonst gleichen Verhältnissen um sich greifen, je mächtiger die Wasserschicht ist.

Bei gleicher Höhe der Schicht hat die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Wasser fortbewegt, und die Art der betreffenden Bewegung einen grossen Einfluss auf die Aufnahme der Luft und demgemäss auf die Zersetzung der organischen Bestandtheile. In sogen. stehenden Gewässern (Weiher, Teiche, Seen) ist die Bewegung des Wassers eine geringe und wird nur durch Luftströmungen veranlasst, deren Wirkung meist um so grösser ist, je grösser die Fläche. Die Menge der unter solchen Umständen suspendirten organischen Stoffe ist nur eine geringe, weil diese sich leicht in dem meist ruhigen Wasser absetzen können, wo sie im Verein mit Thierleichen und abgestorbenen Wasserpflanzen eine mehr oder weniger mächtige Lage von Schlamm bilden. Die organischen Bestandtheile in diesem unterliegen nur der Fäulniss, durch welche überdies die nur spärlich im Wasser enthaltenen Sauerstoffmengen vollständig verbraucht werden. Dass dieser Process unter den beschriebenen Umständen allein statt hat, ergiebt sich mit voller Deutlichkeit aus den Erfahrungen, welche man bei der Teichwirthschaft gemacht hat. Das Wasser in den Fischteichen wird bei längerem Bestehen derselben immer untauglicher bezüglich des Gedeihens der Fische, weil diese des Sauerstoffs nicht entbehren können. Man hat deshalb auch in rationell betriebenen Wirthschaften[1]) die Einrichtung getroffen, die Teiche nur während eines gewissen Zeitraumes zur Fischzucht zu benutzen, und dann nach Ablassen des Wassers den Grund derselben behufs Beseitigung der Fäulnissstoffe einige Jahre mit Ackerpflanzen anzubauen. Ueberdies würde auch die erfahrungsmässig schwere Zersetzbarkeit der organischen Bestandtheile des aus Teichen und Weihern entnommenen Schlammes für die Existenz eines Fäulnissvorganges bei der Bildung desselben sprechen.

Fliessende Wässer (Bäche, Flüsse und Ströme) nehmen unter sonst gleichen Verhältnissen ungleich grössere Mengen von Luftsauerstoff auf als die stehenden, um so mehr, je grösser die Geschwindigkeit ist und je inniger das Wasser mit der Luft in Berührung tritt. Ueber glatten Grund fliessendes Wasser absorbirt immer weniger Luft als solches, welches während des Laufes über Wehre herabfällt oder welches an feste Gegenstände, wie an Brückenpfeiler, besonders aber an grössere

[1]) Wie z. B. auf der fürstl. Schwarzenberg'schen Herrschaft Wittingau in Böhmen, welche unter der Leitung des um die Theorie und Praxis des Fischzucht hochverdienten Directors Herrn *Šusta* steht.

im Bett liegende Steine anprallt und dadurch zum Aufschäumen gebracht wird. In welchem Umfange die im Wasser gelöste oder mechanisch mitgerissene Luftmenge für die Oxydation der organischen Substanzen verwerthet wird, ist in den fliessenden Gewässern sowohl von der Beschaffenheit und Menge, als auch von der Vertheilung dieser Stoffe in der Flüssigkeit wesentlich abhängig. Substanzen, welche ein grösseres absolutes Gewicht besitzen, werden sich am Grunde absetzen und sich dort zum Theil ansammeln, zumal die Geschwindigkeit des Wassers dort eine geringere ist als im Stromstrich. Diese Materialien werden leicht der Fäulniss statt der Verwesung anheimfallen, namentlich wenn die Wasserschicht eine grössere Mächtigkeit besitzt. Ungleich günstiger werden sich die Zersetzungsvorgänge gestalten, d. h. die organischen Bestandtheile werden einer kräftigen Oxydation unterliegen, wenn die betreffenden Materialien sich im fein vertheilten Zustande befinden und in diesem Falle, weil sie den hydrostatischen Auftrieb nicht zu überwinden vermögen, in der Schwebe erhalten. Unter solchen Umständen wird bei grösserer Luftzufuhr zum Wasser die Gesammtmasse aller organischen, sowohl der gelösten als auch der suspendirten Bestandtheile bereits in kurzer Frist vollständig der Oxydation (Verwesung) unterliegen, vorausgesetzt, dass die Menge jener Stoffe im Verhältniss zu derjenigen des Wassers nicht zu gross ist, und die Materialien an sich leicht zersetzbar sind. Ersteren Punkt anlangend wird behauptet werden dürfen, dass eine bestimmte, für alle Oertlichkeiten gültige Grenze nicht existirt, schon deswegen nicht, als die oxydirende Wirkung des Wassers, wie gezeigt, eine sehr ungleiche ist. Hinsichtlich des zweiten Punktes ist die Thatsache nicht ausser Acht zu lassen, dass alle thierischen organischen Stoffe viel leichter verwesen als jene vegetabilischen Ursprungs.

Von nicht geringem Einfluss auf den Zerfall der organischen Stoffe erweist sich zuweilen auch die chemische Beschaffenheit des Wassers. Gewässer, welche viel kohlensauren Kalk mit sich führen, geben zur Bildung von Aggregaten, d. h. zu einer Vereinigung der schwebenden Stoffe zu Klümpchen, und dadurch zu Ablagerungen am Grunde Veranlassung. Kohlensaure Alkalien bedingen ein schnelles Niedersinken der mechanisch fortgerissenen Theilchen und die Bildung dichter Schlammabsätze. Enthalten die Wässer Stoffe, welche die bei der Zersetzung der organischen Substanzen betheiligten niederen Organismen tödten, wie solches bei der Einleitung von gewissen Fabrikabwässern in die Flussläufe der Fall ist, so hört der Entmischungsprocess überhaupt auf und derselbe beginnt erst von Neuem, wenn das Wasser eine genügende Verdünnung erfahren hat.

Schliesslich würde noch die Betheiligung der Thier- und Pflanzenwelt an den in Rede stehenden Erscheinungen in das Auge zu fassen sein. Die Thiere entziehen dem Wasser Sauerstoff, welchen sie zur Athmung bedürfen, und athmen Kohlensäure aus. Sie thun daher den Oxydationsvorgängen im Wasser Abbruch. Die höheren grünen Wasserpflanzen zersetzen zwar die Kohlensäure und scheiden Sauerstoff ab, verhalten sich aber bei Lichtabschluss genau so wie die Thiere. In wie weit durch diese Vorgänge der Sauerstoffgehalt des Wassers beeinflusst wird, ist natürlich davon abhängig, in welchem Umfange die betreffenden Organismen und die Fäulnissstoffe in dem Wasser auftreten.

Bei Zusammenfassung der hier in Kürze geschilderten Momente, welche für die Entmischung der organischen Stoffe belangreich sind, wird nicht geleugnet werden

können, dass unter günstigen Bedingungen die Oxydationsvorgänge eine bis zur vollständigen Verflüchtigung des organischen Materials sich steigernde Intensität annehmen und jene Eigenschaft solcher Gewässer hervorrufen können, welche man in der Hygiene mit „Selbstreinigung“ derselben bezeichnet hat. Aus derartigen Vorkommnissen die Schlussfolgerung ableiten zu wollen, dass diese Eigenschaft allen Wasserläufen, ohne Ausnahme, zukomme, würde aber allen bis jetzt bekannt gewordenen Thatsachen über die Bedingungen des Zerfalls organischer Stoffe widersprechen, vielmehr wird geschlossen werden müssen, dass in vielen Gewässern die Voraussetzungen zu einer kräftigen Oxydation fehlen und in manchen sogar die gesammte Zersetzung als echte Fäulniss in die Erscheinung tritt.

Dieser Abschnitt kann nicht ohne den Hinweis abgeschlossen werden, dass in Ansehung der oben entwickelten Gesetzmässigkeiten die bezüglichen Zersetzungsvorgänge selbstverständlich an die Mithilfe niederer Organismen (Pilze) geknüpft sind (S. 79). Dass auch Algen hierbei wesentlich betheiligt seien, wie neuerdings vielfach behauptet worden ist, ist nicht wohl anzunehmen, weil diese Gewächse in den fliessenden Wässern, zumal in jenen, in welchen man die Selbstreinigung nachgewiesen haben will, nur spärlich auftreten und, abgesehen hiervon, dieselben einen directen Einfluss auf die Processe des Zerfalls organischer Stoffe nicht auszuüben vermögen. An dieser Auffassung bezüglich der „Reinigung“ der Wässer durch Algen wird schwerlich durch den Nachweis etwas geändert, dass dieselben organische Stoffe aufzunehmen und zur Bildung ihres Körpers zu verwerthen im Stande seien, denn die Menge der in dieser Weise dem Wasser entzogenen Bestandtheile kann schlechterdings nur eine geringe sein und wird überdies dem Wasser nach dem Absterben dieser Organismen wieder zugeführt. Dasselbe gilt auch im Grossen und Ganzen von den höheren chlorophyllführenden Wasserpflanzen.

Zweiter Abschnitt.

Die Producte der Zersetzung der organischen Stoffe. Die Humusbildungen.

I. Die Ablagerung der Humusstoffe.

Den Darlegungen über die chemischen Vorgänge bei der Zersetzung organischer Stoffe ist zu entnehmen, dass die Elementarbestandtheile letzterer je nach äusseren Umständen in verschiedener Menge und Form gasförmig entweichen. Diese Verflüchtigung der Substanz erfolgt aber nicht vollständig, sondern nur theilweise, so dass selbst unter günstigen Verhältnissen ein aus organischen Stoffen mit Einschluss eines Theils der Mineralstoffe bestehender fester Rückstand, der sogen. Humus, verbleibt. Dieser stellt eine amorphe, meist dunkel gefärbte Substanz dar, welche, weil sie fortwährend Veränderungen unterliegt, keine bestimmte chemische Zusammen-

setzung besitzt und demgemäss sich nur nach äusseren Merkmalen charakterisiren lässt.

Bezüglich der Ansammlung der Humusstoffe an einer Oertlichkeit ergeben sich zunächst zwei wesentliche Unterschiede, je nachdem die Luft freien Zutritt zu den organischen Stoffen hat oder diese abgeschlossen ist. In jenem Fall (Verwesung) überwiegt die Verflüchtigung bedeutend und findet in Folge dessen die Ablagerung von Humus in ungleich geringerem Umfange statt als in dem zweiten Fall (Fäulniss), in welchem caeteris paribus die Bildung gasförmiger Producte zurücktritt und jene von festen, nicht oder wenig flüchtigen Stoffen vorherrscht. Aus diesem Grunde häufen sich die Humusstoffe an solchen Oertlichkeiten, wo die Bedingungen zur Verwesung gegeben sind, in viel geringeren Mengen an als dort, wo die organischen Substanzen der Fäulniss unterliegen.

Innerhalb der bezeichneten Grenzen machen sich in Bezug auf die Humusablagerungen mehr oder weniger grosse Unterschiede geltend, die sowohl durch äussere Einflüsse, als auch durch gewisse Eigenthümlichkeiten der der Zersetzung anheimfallenden Substanz bedingt sind.

Wo durch ergiebigen Luftzutritt, ein mittleres Maass der Feuchtigkeit und höhere Temperatur einer kräftigen Verwesung Vorschub geleistet ist, häuft sich der Humus nur in minimalen Mengen an, während in allen Fällen, wo einer der für die Oxydationsvorgänge maassgebenden Factoren ins Minimum geräth, die Verflüchtigung der organischen Substanz eine entsprechende Einschränkung und die Ansammlung fester Zersetzungsproducte eine hiermit Hand in Hand gehende Vermehrung erfährt. Demgemäss haben Klima, Witterung, Bodenbeschaffenheit u. s. w. einen maassgebenden Einfluss auf die Humusansammlungen. Letztere sind unter übrigens gleichen Verhältnissen in einem feuchten und gleichzeitig warmen Klima gering, in den kälteren Regionen sehr bedeutend. Höhere Wärme ist der Verwesung nur in dem Falle förderlich, wo genügende Feuchtigkeit vorhanden ist, mangelt diese, so ist die Zersetzung der organischen Stoffe, trotz günstiger Temperatur, eine so minimale, dass diese lange Zeit sich in einem fast unveränderten Zustande erhalten. Deshalb sind z. B. die Landwirthe in den ariden Regionen Californiens genöthigt, das Stroh und den strohigen Dünger zuerst in Compost zu verwandeln, ehe sie dieselben auf das Feld bringen[1]). Aus derartigen und vielen anderen Beispielen ergiebt sich mit voller Deutlichkeit, dass die wesentlichen klimatischen Bedingungen in mannigfachen Wechselbeziehungen zu einander stehen, die in einer verschiedenen Ansammlung der Humusstoffe in die Erscheinung treten. Im Allgemeinen kann angenommen werden — und die Beobachtung bestätigt dies zur Genüge —, dass mit Abnahme der Temperatur die Anhäufung humoser Stoffe zunimmt, dass aber diese Wirkungen modificirt werden je nach den vorhandenen Feuchtigkeitsmengen an der betreffenden Oertlichkeit.

Gleichergestalt wie das Klima zeigt auch der Boden ein sehr wechselvolles Verhalten in Bezug auf die fraglichen Naturerscheinungen. Je grösser die Permeabilität desselben ist, um so weniger können sich in ihm humose Stoffe ansammeln, vorausgesetzt, dass die für die Verwesung erforderlichen Feuchtigkeitsmengen zugegen sind. Ist dies nicht der Fall, so verwest die organische Substanz, wenn überhaupt, nur

---

[1]) *E. W. Hilgard.* Forschungen u. s. w. Bd. XVI. 1893. S. 103.

langsam und hinterlässt einen grösseren Rückstand. Bei sehr feinkörnigen Bodenarten ist letzteres die Regel, weil in diesen die disponible Luftmenge zu einer intensiveren Verwesung unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht ausreichend ist. Unter Umständen kann sogar in derartigen Böden der Zutritt der Luft in einem solchen Maasse mangeln, dass die organische Substanz der Fäulniss unterliegt und sich nunmehr in grossen Massen ansammelt. Zwischen den geschilderten Extremen weisen die verschiedenen Bodenarten je nach ihrer Durchlässigkeit für Luft mannigfache Uebergänge auf, die aber in vielfach abgeänderten Formen in die Erscheinung treten, weil die bezeichnete Eigenschaft nicht allein, wenn auch im Allgemeinen, für die Verwesung im Boden maassgebend ist.

In Rücksicht auf die Complication der einschlägigen theils sich gegenseitig unterstützenden, theils sich gegenseitig aufhebenden Ursachen würde ein näheres Eingehen auf die jeweils, unter bestimmten Verhältnissen stattfindenden Vorgänge zu Weitschweifigkeiten führen, welche um so eher umgangen werden können, als es bei einigem Nachdenken an der Hand des oben (S. 144) entwickelten Gesetzes und der hier kurz berührten Beispiele keine besonderen Schwierigkeiten bietet, im concreten Fall sich ein Urtheil über die einschlägigen Fragen zu bilden.

Für die Anhäufung der unter Luftabschluss sich bildenden Fäulnissproducte ist besonders die Temperatur von Belang. In den Tropen, bei ungehinderter Insolation, kann die Gährung in der Masse so rapid verlaufen, dass es zu Ablagerungen von Humusstoffen in grösserem Umfange gar nicht kommt. Mit der Abnahme der Temperatur gegen die Pole oder mit der Erhebung über dem Meeresspiegel häufen sich aber die betreffenden Producte in zunehmenden Mengen an, in demselben Maasse immer mächtigere Lager von faulenden organischen Massen bildend.

Neben den bezeichneten Einwirkungen ist für die Anhäufung der Humusstoffe weiters die Menge der unter den jeweiligen localen Verhältnissen producirten organischen Substanz, sowie deren Zersetzbarkeit von wesentlicher Wichtigkeit. Je günstiger in der Natur die Vegetationsbedingungen für die Gewächse sind, um so grössere Massen von Pflanzensubstanz werden weiterhin angehäuft, und umgekehrt. Daher ist z. B. auch in den humiden Regionen die Humusbildung eine stärkere als in den ariden, wo wegen des Feuchtigkeitsmangels die Pflanzen nur eine geringe Menge vegetabilischer Substanz hervorbringen. Dies geht deutlich aus den Untersuchungen von *E. W. Hilgard*[1]) hervor, der in den verschiedensten Böden Californiens die Menge des Humus (matière noire Grandeau's[2]) für die feuchten und trockenen Landstriche, wie folgt, bestimmte:

Mittlerer Humusgehalt des Bodens in Proc.

Humide Region.	Aride Region.	
	Tiefland.	Hügelland.
3,04	**0,99**	**0,75.**

In gleicher Weise ist auch in allen übrigen Fällen die Humusbildung unter sonst gleichen Umständen von dem Productionsvermögen der Pflanzen beherrscht, insofern die Menge der dem Boden verbleibenden Reste mit den Fruchtbarkeitsverhältnissen wächst und fällt.

---

1) Forschungen u. s. w. Bd. XVII. 1894. S. 478—485.

2) Siehe unten.

In wie weit die Zersetzungsfähigkeit der organischen Substanzen für die Humusansammlung maassgebend ist, wird nach den Darlegungen auf S. 113 ermessen werden können. Im Grossen und Ganzen ist die Verwesung bei den thierischen Stoffen, mit Ausnahme der Horngebilde und chitinhaltigen Körpertheile, eine viel vollständigere als bei allen vegetabilischen Producten. Bei letzteren treten wiederum mannigfache Unterschiede auf, die durch den Gehalt an Eiweissstoffen und durch verschiedene physikalische Eigenschaften derselben bedingt sind. Trockene Pflanzentheile verwesen langsamer als grüne, die Strohsorten der Leguminosen schneller als jene der Getreidearten, und diese wiederum rascher als die Blätter der Laub- und Nadelbäume. In absteigender Reihe folgt dann das Holz, während unter allen Materialien vegetabilischen Ursprungs, welche bei der Bodencultur Verwendung finden, der Torf am langsamsten dem Zerfall unterliegt, wie denn überhaupt alle Fäulnissproducte, zu welchen auch der Torf gehört, sich durch ausserordentliche Beständigkeit auszeichnen, auch in dem Falle, wo sie den Bedingungen der Verwesung ausgesetzt werden.

Bei einem und demselben Boden ist schliesslich die Humusanreicherung von der Art seiner Benutzung mitbedingt.

Gegenüber denjenigen Culturen, bei welchen die Erde längere Zeit oder dauernd mit Pflanzen besetzt ist (perennirende Futtergewächse, Wiesenpflanzen, Waldbäume), zeigen zunächst jene, bei welchen die Vegetationsdauer der Nutzpflanzen (Feldfrüchte) nur eine kurze ist, einen nicht unwesentlichen Unterschied. In dem bearbeiteten Ackerlande ist, trotz der Zufuhr von Düngemitteln organischen Ursprungs, die Humusansammlung eine beträchtlich geringere als in den permanent mit Nutzpflanzen besetzten Böden (Wald, Wiesen) von gleicher Beschaffenheit, weil in jenem Fall die Bedingungen zu einer intensiven Zersetzung in einem viel höheren Grade gegeben sind als in diesem. Das bearbeitete und gedüngte sowie das nicht bearbeitete und nicht gedüngte nackte Land erleiden sogar im Laufe der Zeit in Folge der Verflüchtigung eines Theiles der organischen Stoffe eine Verminderung des Humusgehaltes, während das mit perennirenden Pflanzen (Futter-, Wiesen- und Forstgewächse) bestandene durch die alljährlich absterbenden und nur langsam sich zersetzenden Wurzelreste entweder einen Schutz gegen die Verarmung oder eine stetig zunehmende Anreicherung an organischer Substanz erfährt. Für diese Wirkungen der Culturen auf den Humusgehalt der Böden liegen zahlreiche ziffernmässige Belege vor, welche besonders von *J. B. Boussingault, Truchot*[1]), *H. Joulie*[2]), *J. B. Lawes* und *J. H. Gilbert*[3]), *P. P. Dehérain*[4]) und dem Verfasser geliefert worden sind.

P. P. Dehérain, welcher in vorwürfiger Frage sehr eingehende Untersuchungen angestellt hat, bestimmte die Stickstoff- und Kohlenstoffmengen in der Ackererde auf vier

[1]) Annales agronomiques. T. 1. 1875. p. 35.

[2]) Revue des Industries chimiques et agricoles. T. V. Nr. 52. 1881. p. 350—370.

[3]) Ann. de Chim. et de Phys. Sér. 6. T. II. p. 511 u. Journ. of the Agric. Soc. of England. Vol. XXV. Part. I. London. 1889.

[4]) Annales agronomiques. T. VIII. 3. Fasc. 1882. p. 321—356 u. T. XII. 1. Fasc. p. 17—24.

Parcellen, welche in den Jahren 1875—1877 übermässige Düngermengen erhalten hatten, in den folgenden vier Jahren (1878—1881) ungedüngt blieben und während dieser Zeit mit verschiedenen Culturpflanzen angebaut wurden. Die betreffenden Analysen wurden im Jahre 1878 und 1881 nach viermaliger Beerntung des Bodens ausgeführt und ergaben folgendes Resultat:

Kohlenstoffgehalt des Bodens in gr per kg.

Vorherige Düngung:	Stallmist.	Natronsalpeter.	Schwefels. Ammoniak.	Ungedüngt.
		Futtermais.		
1878	16,7	13,2	15,2	15,2
1881	8,0	6,1	—	7,6.
		Kartoffeln (2 Jahre), dann Getreide (2 Jahre).		
1878	21,3	14,6	17,0	16,2
1881	—	8,8	—	7,1.
		Esparsette.		
1879	13,4	12,8	—	12,9
1881	12,2	12,4	—	13,3.

Stickstoffgehalt des Bodens in gr per kg.

Vorherige Düngung.	Stallmist.	Natronsalpeter.	Schwefels. Ammoniak.	Ungedüngt.
		Futtermais.		
1878	2,01	1,79	1,88	1,67
1881	1,68	1,45	1,62	1,45.
		Kartoffeln (2 Jahre), dann Getreide (2 Jahre).		
1878	2,08	1,78	1,74	1,74
1881	1,69	1,67	1,54	1,69.
		Esparsette.		
1878	1,50	1,50	1,51	1,46
1881	1,65	1,52	1,56	1,50.

In einem weiteren Versuch desselben Forschers wurde neben dem Einfluss der Esparsette jener der Gräser festzustellen versucht, wobei folgende interessante Daten ermittelt wurden:

Stickstoffgehalt des Bodens pro ha in kg.

Culturen.		Zeit der Probe-Entnahme.	1875, 76 u. 77 mit Stalldünger gedüngt, dann ohne Dünger.	Ungedüngt.
Luzerne	1870—1875	1875	7854	7854
Rüben Futtermais	1871—1877 1878	1879	5775	5621
Esparsette	1879—1881	1881	6352	5775
Esparsette Gras	1882--1883 1884—1885	1885	6814	6352.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten *Lawes* und *Gilbert*, welche fanden, dass der bearbeitete Boden (Gerstefeld) einen geringeren Gehalt sowohl von Kohlenstoff, wie von Stickstoff besass, als der mit perennirenden Gewächsen bestandene.

In durchgreifenderem Maasse als in den mitgetheilten Fällen machte sich in den Versuchen des Verfassers[1]) der Einfluss verschiedener Culturformen auf die An-

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XIX. 1896. Heft 1/2. S. 161 u. 165.

reicherung des Bodens mit organischen Stoffen geltend. In einem Versuch (I) wurden fünf aus starken Brettern hergestellte und in die Erde versenkte unten offene Kästen von 2 qm Querschnitt und 0,5 m Tiefe, in einem zweiten Versuch (II) fünf sogen. Lysimeter von denselben Dimensionen und in der gleichen Anordnung im Frühjahr 1886 mit humushaltigem, kalkreichem Sandboden gefüllt. Auf Parzelle I und II wurden je 5 fünfjährige Fichten von möglichst gleichem Wuchs in gleichmässiger Vertheilung gepflanzt, Parcelle III wurde mit 5 ebenso alten Birkenbäumchen besetzt, während Parcelle IV mit einem Grasgemisch besäet wurde und Nr. V nackt blieb. Auf Parcelle II wurde nach der Pflanzung (Frühjahr 1886) die Oberfläche des Bodens bis zum Frühjahr 1889 mit einer 10 cm hohen Decke aus Fichtennadeln versehen, während der übrigen Versuchszeit mit einer ebenso mächtigen Moosschicht.

Im Frühjahr 1892 wurden in den Holzkästen, im Herbst 1893 in den Lysimetern die Pflanzendecken entfernt und aus jeder Parcelle mittelst eines Erdbohrers etwa 100 Proben bis zur vollen Tiefe entnommen, auf das Sorgfältigste gemischt und gesiebt. Der Kohlenstoffgehalt des Bodens wurde mittelst Verbrennens mit Kupferoxyd, der Stickstoffgehalt nach der *Kjeldahl*'schen Methode bestimmt, wobei folgende Resultate ermittelt wurden:

Kohlenstoffgehalt des bei 105° getrockneten Bodens in Proc.

Versuch:	I. Fichten ohne Streudecke.	II. Fichten mit Streudecke.	III. Birken.	IV. Gras.	V. Nackt.
I	2,313	2,844	2,103	2,879	1,578
II	2,297	2,878	2,359	2,918	1,857

Stickstoffgehalt des bei 105° getrockneten Bodens in Proc.

Versuch:	I.	II.	III.	IV.	V.
I	0,245	0,269	0,231	0,275	0,213
II	0,257	0,273	0,259	0,305	0,217

Hieraus ergiebt sich, dass die mit Pflanzen bestandenen Böden nach 6 resp. 7½jähriger Wachsthumszeit an Kohlenstoff und Stickstoff beträchtlich reicher waren als das nackte Land. Diese Unterschiede wurden, wie aus Analogien geschlossen werden darf, dadurch hervorgerufen, dass der nackte Boden einen Verlust durch Zersetzung der organischen Stoffe, der bepflanzte dagegen einen Gewinn durch Verminderung des Zerfalls der organischen Bestandtheile und durch Zugang der alljährlich absterbenden Wurzelreste erfahren hatte. In diesem Sinne bezeichnet sonach der höhere Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des mit einer Pflanzendecke versehenen im Vergleich zu dem nackten eine Anreicherung an diesen Bestandtheilen zu Gunsten des ersteren[1]).

Bemerkenswerth ist die Thatsache, dass das Grasland sowie der mit einer Streudecke versehene Fichtenboden eine höhere Zunahme an organischen Stoffen aufzuweisen hatten als der mit Birken bepflanzte sowie der mit Fichten ohne Streudecke bestandene Boden. Dies beruht wahrscheinlich darauf, dass die Gräser mehr Wurzel-

[1]) Die wirkliche Anreicherung würde sich natürlich nur dann berechnen lassen, wenn die Böden vor Anstellung der Versuche auf ihren Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt untersucht worden wären. Es wurde dies unterlassen, weil die betreffenden Versuche ursprünglich zu anderen Zwecken bestimmt waren und die Veränderungen in der stofflichen Zusammensetzung des Bodens sich nicht voraussehen liessen.

rückstände hinterlassen und die Fichten, wie dies in der That der Fall war[1]), bei dem Vorhandensein einer Streudecke sich kräftiger entwickeln und in Folge dessen auch in ihrem Wurzelgeflecht eine grössere Menge organischer Substanz enthalten als ohne eine solche.

Bei näherer Durchsicht der im Vorstehenden in Kürze mitgetheilten Versuchsergebnisse ergiebt sich mit voller Deutlichkeit, dass die Erde, welche alle Jahre bearbeitet wird, an organischer Substanz verarmt, gleichgiltig wie reich die Düngerzufuhr ist, und dass diese Verarmung aufhört und die Erde bereichert wird, wenn die Bearbeitung unterlassen und der Boden mit perennirenden Gewächsen besetzt wird. Die Ursache dieser Erscheinung ist, abgesehen von dem Verhalten des Stickstoffs, welches im III. Abschnitt besprochen werden soll, darauf im Allgemeinen zurückzuführen, dass die kurzlebigen Ackerpflanzen nicht allein eine geringere Menge von Wurzelrückständen dem Boden hinterlassen, sondern dass letztere auch in Folge der durch die Lockerung des Bodens bewirkten Luftzufuhr sich in viel stärkerem Grade zersetzen, als dies bei den permanent den Boden bedeckenden Pflanzen der Fall ist.

Der Einfluss, den die verschiedenen Culturarten innerhalb der beiden Gruppen in der geschilderten Weise ausüben, ist dem Grade nach sehr verschieden, je nach der Entwickelung, Standdichte und Vegetationsdauer der Gewächse. Je dichter die Pflanzen stehen und je kräftiger sie sich entwickelt haben, je länger ihre Vegetationsdauer ist, um so grösser ist im Durchschnitt die Anhäufung der Humussubstanzen im Boden, weil in dem gleichen Grade die Menge der Rückstände wächst und die Bedingungen zu einer kräftigen Verwesung derselben abnehmen (S. 165 u. 171). Die Anreicherung des Bodens an humosen Bestandtheilen ist bei den Culturarten, bei welchen dieselbe in grösstem Maassstabe stattfindet, hiernach, sowie auch nach gewissen Besonderheiten sowohl der Gewächse als auch des Bodens zu bemessen. Die Waldbäume, welche ihre Wurzeln in grössere Tiefen des Erdreiches versenken, erstrecken ihre Wirkung in fraglicher Richtung auf eine grössere Region als die Gräser, welche ihre unterirdischen Organe mehr in den oberen Bodenpartien verbreiten und auf diese vornehmlich eine bereichernde Wirkung ausüben. An mässig feuchten Standorten vollzieht sich die Humusansammlung schneller als an stark feuchten, weil in jenem Fall die Verwesung intensiver von Statten geht als in diesem, wo durch das höhere Maass von Bodenfeuchtigkeit der Luftzutritt mehr oder weniger gehemmt ist. Deshalb ist der Grasboden an Hügeln weniger humusreich als der an den tiefsten Stellen des Terrains gelegene (Wiesen). Da die Vermehrung des Humusgehaltes gleichzeitig mit einer solchen in der Wassercapacität des Bodens verknüpft ist, so wird es begreiflich, dass auf Wiesen, welche schon an sich an feuchten Plätzen liegen, der Wassergehalt des Bodens schliesslich so gross werden kann, dass der Zutritt der Luft zu dem Boden vollständig gehemmt und dadurch nunmehr ein Fäulnissprocess in der angehäuften Humusmasse eingeleitet wird.

In den Wäldern findet eine Humusansammlung ausser im Boden auf der Oberfläche desselben statt, indem hier die abgefallenen Nadeln und Blätter, sowie das Moos in den Nadelgehölzen der Verwesung unterliegen, welche je nach der durch die Kronen der Bäume ausgeübten Beschattung mehr oder weniger schnell verläuft.

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XVII. 1894. S. 179.

Entsprechend dem Verlauf des Zersetzungsprocesses bildet sich in dem geschonten Walde eine Humusschicht von grösserer oder geringerer Mächtigkeit auf der Oberfläche des Bodens, welche zum Theil von den Wurzeln der Bäume besetzt wird und auf welcher sich niedrig wachsende Pflanzen mannigfacher Art ansiedeln. Im Allgemeinen ist die Humusbildung an der Oberfläche des Bodens in den Wäldern stärker als in demselben, weil die Masse der jährlich absterbenden Wurzeln eine bedeutend geringere ist als jene, welche die jährlich abfallenden Nadeln und Blätter repräsentiren.

Der Umfang, in welchem die Humusanhäufung in den Wäldern erfolgt, ist natürlich von verschiedenen äusseren Einflüssen abhängig[1]). In gut geschlossenen mitteljährigen Beständen sammelt sich mehr Humus an als in schlecht geschlossenen und in alten rückgängigen Beständen. In solchen mit dichter Belaubung, wie in Buchen-, Fichten- und Tannenbeständen, finden sich grössere Humusmengen vor als in solchen mit schwacher Belaubung, wie in Eichen-, Kiefern- und Lärchenbeständen. „Der Hochwaldbetrieb mit lang erhaltenem Bestandesschluss muss der Humusbildung günstiger sein als der Mittelwaldbetrieb, und dieser wieder ist besser als der Niederwaldbetrieb, bei welchem der Boden öfter und in kürzeren Zwischenräumen blossgelegt wird. Hochwaldbetrieb ist deshalb auch am geeignetsten, den Waldboden zu verbessern. Wenn innerhalb einer Hochwaldsperiode (100—120 Jahre) keine Streunutzung stattgefunden hat, so kann man sicher darauf rechnen, dass auch schlechter Boden in einen kräftigen Waldboden umgewandelt ist. Gebirgslagen sind der Humusanhäufung günstiger als das Tiefland; Nord- und Westseiten, Mulden und Vertiefungen müssen im Allgemeinen reicher an Waldhumus sein als Süd- und Ostseiten und die dem Winde exponirten Oertlichkeiten, an welchen zugleich auch das Laub weggeweht wird. Auf Blössen, auf Kahlschlägen, in zu stark gelichteten Beständen, dann bei kurzer Umtriebszeit oder Ueberständigkeit der Holzbestände wird bald Humusarmuth eintreten. Unter sonst gleichen Verhältnissen muss endlich thonreicher Boden humusreicher sein als Kalk- und Sandboden."

Nach dem Mitgetheilten wird die Thatsache begreiflich, dass der Humusgehalt der Böden ungemein variirt, und dass alle möglichen Procentsätze vorkommen. Bezüglich der Benennung der Böden nach dem Humusgehalt wird es zweckmässig sein, die Vorschläge *W. Knop*'s[2]) zu acceptiren, der folgende Kategorien[3]) unterscheidet und dementsprechend die Bezeichnung giebt:

0—2,5	Proc.	Humus:	humusarm.
2,5—5	„	„	humushaltig.
5—10	„	„	humos.
10—15	„	„	humusreich.
> 15	„	„	humusüberreich.

Ueber den Humusgehalt einiger Bodenarten geben folgende Zahlen Auskunft[4]), welche sich auf die lufttrockene Masse beziehen.

[1]) *E. Ebermayer*. Die gesammte Lehre der Waldstreu. Berlin. 1876. S. 205.

[2]) *W. Knop*. Die Bonitirung der Ackererde. 1871. S. 67.

[3]) Verfasser hat die Grenze zwischen den beiden ersten Kategorien, welche *Knop* zu 3% angiebt, auf 2,5% herabgesetzt.

[4]) Nach einer Zusammenstellung von *W. Ollech*: Ueber den Humus und seine Beziehungen zur Bodenfruchtbarkeit. Berlin 1890, unter Zufügung einiger von *W. Schütze* (Zeit-

		Humus %.
1.	Lehmiger Sandboden, Weinbergsboden (nach *Frey*)	0,340
2.	Lias-Verwitterungsboden, fruchtbare Ackererde (nach *Frey*)	0,628
3.	Lias-Sandstein-Verwitterungsboden, „Schleissboden" aus Hohenheim (nach *E. Wolff*)	0,825
4.	Reiner Sandboden aus Lauenburg von sehr geringer Fruchtbarkeit (nach *W. Knop*)	0,930
5.	Humoser, lehmiger Sand, Ackerkrume des oberen Diluvialmergels, Rixdorf bei Berlin (nach *Ernst Schulz*)	1,130
6.	Desgl. Signalberg, Friedenau bei Berlin (nach *Ernst Schulz*)	1,230
7.	Guter Weizen- und Kleeboden von Bockwa bei Zwickau (nach *Knop*)	1,350
8.	Sandiger Lehmboden, Ackererde von Möckern (nach *Knop*)	1,410
9.	Vorzüglicher Weizen- und Kleeboden von Mattstedt bei Apolda (nach *Knop*)	1,750
10.	Lössboden, Langenweddingen, Magdeburger Börde	1,780
11.	Diluvialsandboden, Kiefernboden, Eberswalde (nach *W. Schütze*)	0,555—1,825
12.	Rother schwerer Lehmboden, Alluvium, Rossla am Harz	2,044
13.	Lehmboden, Saale-Alluvium, Benkendorf	2,080
14.	Liaskalkstein-Verwitterungsboden, Ackerkrume, Hohenheim (nach *E. Wolff*)	2,091
15.	Nilalluvium, Ackererde bei Kairo (nach *Knop*)	2,214
16.	Sandiger Lehmboden, Verwitterungsproduct von Sandstein und dem Rothliegenden, am Kyffhäuser	2,214
17.	Moormergel, Brietzer Wiese, Tempelhof bei Berlin (nach *Wahnschaffe*)	2,470
18.	Sandiger Lehmboden, Alluvium, Prerau	2,727
19.	Sandiger Lehmboden, Alluvium, Brodau, Böhmen	2,856
20.	Alluvialer Thonboden bei Kreudorf, Abschwemmung von Basalt und Plänerkalk	2,883
21.	Lehmiger Sandboden, Buchenwald, Dänemark (nach *Tuxen*)	1,12—3,04
22.	Sandiger Boden, Eichenwald, Dänemark (nach *Tuxen*)	3,08
23.	Sandiger Boden, Haideboden, Dänemark (nach *Tuxen*)	0,34—3,30
24.	Sandiger Lehmboden, Löss, Ferbenz, Böhmen	3,515
25.	Kieshaltiger rother Lehmboden, Alluvium, Nordhausen	3,525
26.	Strenger Lehmboden, Alluvium, Neuhof in Schlesien	3,573
27.	Humoser Lehmboden, Löss, Ploscha, Böhmen	3,973
28.	Buntsandsteinboden, Ackerkrume, Neuenburg in Württemberg	3,990
29.	Thonboden, Alluvium, Prag	4,173
30.	Syenitboden, Rübenboden, Blansko in Mähren	4,270
31.	Humoser Lehmboden, Alluvium, nie gedüngt, Gruszka in Galizien	4,845
32.	Kalkhaltiger Diluvialboden, München (Feinerde nach *E. Wollny*)	2,7—5,031
33.	Marschboden, Oldenburg	5,150

schrift für Forst- und Jagdwesen. I. S. 50 u. III. S. 360), von *C. F. A. Tuxen.* (Studien über die natürlichen Humusformen. Von *P. E. Müller.* Berlin, 1887), von *M. Fleischer* (Landw. Jahrbücher. 1890), von *C. Schmidt* (Baltische Wochenschrift. 1880. Nr. 25 u. 26 u. 1881. Nr. 10 u 11), von *P. Kostytscheff* (The Soil. Chicago) und dem Verfasser ermittelten Daten.

	Humus %.
34. Oderbruchboden, Alluvium, Kienitz	5,591
35. Marschboden, Wühlerde, Oldenburg	6,012
36. Thonboden, Alluvium, Prag	6,168
37. Schwarzer Moorboden mit thonigem Untergrund (nach *E. Wolff*)	6,535
38. Buchenmull, Dänemark (nach *Tuxen*)	5,10—8,33
39. Moormergel, Jung-Alluvium, Hopfenbruch bei Teltow (nach *Wahnschaffe*)	9,480
40. Marschboden vom Dollard, frisch eingedeicht	12,000
41. Russische Schwarzerde, Tschernosem (nach *C. Schmidt* und *P. Kostytscheff*), gewöhnlich 8—10 %, äusserste Grenzen:	5,42—16,34
42. Haidetorf, Dänemark (nach *Tuxen*)	41,50
43. Buchentorf, Dänemark (nach *Tuxen*)	34,70—48,51
44. Mullartiger Buchentorf, Dänemark (nach *Tuxen*)	62,50
45. Morasttorf von Mögsjökärret bei Reijmyra, Schweden (nach *v. Post*)	73,051
46. Niederungsmoor, Cunrau (nach *E. Wollny*)	69,012—74,563
47. Niederungsmoor, Donaumoos bei Neuburg, Bayern (nach *E. Wollny*)	69,167—77,994.

In der Regel sind die Humusstoffe im Boden nicht gleichmässig vertheilt, sondern nehmen, abgesehen von einigen besonderen Vorkommnissen, von der Oberfläche nach der Tiefe hin ab. Dies ist sowohl für Waldböden, als auch für die russische Schwarzerde experimentell nachgewiesen worden. So fand z. B. *C. F. A. Tuxen*[1]) in Böden von Buchenwäldern den

Humusgehalt des Bodens (%):

I.	Obergrund		Untergrund	
	oben	unten	oben	unten
	2,67	**1,23**	**0,31**	**0,29.**

II.	Abstand der Bodenschichten von der Oberfläche.			
	4—8 Zoll	12—22 Zoll	27—33 Zoll	36—42 Zoll.
	1,35	**0,56**	**0,22**	**0,21.**

Gleichergestalt stellte sich die Vertheilung der Humusstoffe bei der Untersuchung des Tschnernosem's heraus[2]), wie folgende Zahlen darthun:

Bodentiefe.	1.	2.	3.	4.	5.
1—6 Zoll	5,42 %	8,11 %	9,29 %	9,64 %	10,11 %
6—12 „	4,83 „	5,19 „	6,23 „	7,71 „	6,81 „
12—18 „	3,63 „	3,92 „	4,33 „	6,71 „	5,57 „
18—24 „	2,56 „	2,84 „	2.20 „	5,61 „	4,36 „
24—30 „	2,58 „	2,11 „	—	3,51 „	3,58 „
30—36 „	1,88 „	1,47 „	—	3,18 „	1,93 „
36—42 „	1,29 „	0,51 „	—	1,56 „	— .

Analog verhalten sich die Prairien in Nord- und die Pampas in Süd-Amerika, welche ebenfalls zu den Schwarzerdebildungen gehören[3]). Aber auch alle übrigen

[1]) ***Tuxen*** in: ***P. E. Müller.*** Die natürlichen Humusformen. Berlin 1887. S. 111 u. 300.

[2]) ***P. Kostytscheff.*** Annales de Science agronomique. 1887. Tome II. p. 165—191. Ferner: ***C. Schmidt.*** Baltische Wochenschrift. 1880. Nr. 25 u. 26 1881. Nr. 10 u. 11. — ***W. Dokoutchaeff.*** Tschernozéme de la Russie d'Europe. St. Pétersbourg. 1879.

[3]) Schwarzerdebildungen kommen in Deutschland nur in einigen Theilen Schlesiens und der Magdeburger Börde vor.

Böden, welche mit einer sich selbst überlassenen Pflanzendecke versehen sind, dürften dieselbe Vertheilung der Humusstoffe aufzuweisen haben. Die geschilderte Abnahme letzterer von oben nach unten ist zweifelsohne darauf zurückzuführen, dass die Wurzeln, aus welchen die organischen Stoffe sich gebildet haben, sich um so besser entwickeln, je näher sich dieselben der Erdoberfläche befinden und dass die in dieser Richtung bestehenden Unterschiede ungleich grösser sind als jene, welche bezüglich der Zersetzung der Wurzelreste in den verschiedenen übereinanderliegenden Schichten bestehen und die in der Weise sich documentiren, dass von unten nach oben die Intensität des Zersetzungsprocesses zunimmt.

II. Classification und besondere Eigenschaften der verschiedenen Humusbildungen.

Die in der Natur vorkommenden Humusstoffe weisen, besonders je nach den äusseren Ursachen ihres Entstehens mannigfache Unterschiede in ihren Eigenschaften auf, so dass dadurch, abgesehen von den bestehenden Uebergängen, die Möglichkeit gegeben ist, jene Bildungen in mehr oder weniger bestimmt umgrenzte Gruppen zu bringen. Die folgende Uebersicht soll nach dieser Richtung nur einen ungefähren Anhalt gewähren, weil in Rücksicht auf unsere gegenwärtig noch unzureichenden Kenntnisse eine allen Anforderungen entsprechende Classification der Humusformen zur Zeit nicht möglich ist.

1. Die Verwesungsproducte.

a) Die unter günstigen Verwesungsbedingungen entstandenen Humusstoffe.

Die unter dem ungehinderten Zutritt des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft, sowie unter dem Einfluss mittlerer Feuchtigkeitsmengen und einer angemessenen Temperatur entstehenden Humuskörper haben das gemeinsam, dass sie sich mehr oder weniger schnell zersetzen unter Bildung von Kohlensäure, Wasser, Ammoniak und Zurücklassung der von der organischen Substanz eingeschlossenen Mineralstoffe, und dass sie entweder alkalisch oder neutral reagiren. Im gewöhnlichen Leben bezeichnet man dieselben als „milder Humus“, doch dürfte es zweckmässig sein, einen passenderen und zwar den von *P. E. Müller*[1]) vorgeschlagenen Ausdruck, nämlich *„Mull“*, zu wählen. Je nach dem Orte seiner Entstehung, d. i. je nach den Materialien, aus welchen er hervorgeht, wird man einen Acker-, Wald- und Streumull unterscheiden können.

Der *Ackermull*, welcher aus den Ernterückständen und den dem Boden künstlich zugeführten organischen Substanzen sich bildet, ist eine Humusart, welche in Folge günstiger Verwesungsbedingungen sich ungemein rasch zersetzt und sich daher in grösseren Mengen nur in selteneren Fällen im gelockerten, d. h. gut durchlüfteten Ackerlande ansammelt. Dies tritt nur dann ein, wenn der Boden bei gewissen Culturen (perennirende Futterpflanzen) längere Zeit unbearbeitet bleibt, und zwar um so mehr, je feinkörniger und deshalb weniger durchlüftbar die betreffende Bodenart ist. Bei späterer Lockerung des Landes unterliegen die inzwischen angesammelten Humusstoffe jedoch sehr bald dem Zerfall.

[1]) *P. E. Müller.* Die natürlichen Humusformen. Berlin. 1887.

Als ***Waldmull*** möchte Verfasser jene Humusstoffe bezeichnet wissen, welche aus den alljährlich in dem Boden selbst absterbenden Wurzeln der Bäume hervorgehen. In Waldböden von krümeliger Beschaffenheit zeigen diese Humusstoffe ein ähnliches Verhalten wie jene in den bearbeiteten Ackerländereien, dürften aber eine vergleichsweise etwas langsamere Zersetzung aufweisen, weil die Temperatur des Waldbodens eine im Durchschnitt niedrigere ist als die des Ackerlandes. Dies ist gewiss bei dem Humus der Fall, der sich in einem für Luft schwerer zugänglichen Boden bildet.

Der ***Streumull*** stellt diejenige Humusart dar, welche unter günstigen Verwesungsbedingungen aus der Waldstreu hervorgeht. Dieser Mull bedeckt in der Regel den Boden nur in einer schwachen Lage und kommt selten in mächtigeren Schichten vor, weil die intensive Zersetzung der Streuabfälle einer Anhäufung der Verwesungsproducte hinderlich ist. Er ist von krümeliger Beschaffenheit und gewöhnlich von einer lockeren Streuschicht von geringer Mächtigkeit bedeckt. Die Bestandtheile der Mullschicht zeichnen sich überall durch innige Vermischung organischer Stoffe mit mineralischen Bodenelementen aus. Die Menge ersterer beträgt ca. 5—10 %. Man findet den Streumull weit verbreitet, vornehmlich dort, wo der Boden mit einer kräftigen Vegetation bedeckt und der Stand der Pflanzen ein geschlossener ist. Je nach dem Material, welchem dieser Mull seinen Ursprung verdankt, kann man unterscheiden: Laubholzmull (Buchen-, Eichenmull u. s. w.), Nadelholzmull (Fichten-, Kiefernmull u. s. w.), Haidemull u. s. w.

Der Streumull ist von einer grossen Zahl von Organismen sowohl aus dem Pflanzenreiche (Schimmel-, Schleimpilze, Bacterien) als auch aus dem Thierreiche (Regenwürmer, Tausendfüssler, Nematoden u. s. w.) bewohnt. Die Thiere nehmen wesentlich an der Mullbildung Theil, indem sie die Pflanzenreste zerkleinern und ihre Excremente in der Masse absetzen, sowie dadurch, dass ihre Leichen in der letzteren verbleiben. Dies ist die Ursache des Vorkommens schwer zersetzbarer Körpertheile der Insecten (Chitintheile) in dem Mull.

Die für die Mullböden charakteristische Bodenflora umfasst nach *P. E. Müller* hauptsächlich folgende Pflanzenarten: in Buchenwäldern: Waldmeister (Asperula odorata), Bingelkraut (Mercurialis perennis), Flattergras (Milium effusum), Perlgras (Melica uniflora), Waldanemone (Anemone nemorosa und A. ranunculoides), Waldsauerampfer (Oxalis Acetosella), Buchenfarn (Phegopteris polypodioides, P. Dryopteris); in Eichenwäldern: mittlerer Klee (Trifolium medium), Veilchen (Viola canina), Vogelwicke (Vicia Cracca), Platterbse (Lathyrus montanus), Johanniskraut (Hypericum perforatum), Labkraut (Galium saxatile), Glockenblume (Campanula rotundifolia und persicaefolia), Teufelsabbiss (Succisa pratensis), Honiggras (Holcus mollis), Bisamkraut (Adoxa mochatellina) u. a. m.; für den Kiefernboden ist noch die Abwesenheit der Haide, der Beerkräuter und zum Theil auch des Adlerfarns bezeichnend.

Schliesslich könnte noch der ***Schlammmull*** (Schlamm nach *H. von Post*)[1]) hierher gerechnet werden, der in sauerstoffreichen Gewässern eine aus dem Kothe der Wasserthiere, Resten von Algen und Infusorien hervorgegangene, durch Bacterien zersetzte grau- oder grünbraune sehr feinkörnige Masse bildet, die keine Structur

[1]) Landwirthschaftliche Jahrbücher. 1888. S. 405—420.

mehr erkennen lässt und in der Regel eine nur wenig mächtige Schicht bildet. Dieser Mull ist gewöhnlich mit unorganischen Beimengungen versehen, und zwar in solchen Mengen, dass der Gehalt der Gesammtmasse an organischen Stoffen selten über 20 % beträgt.

b) Die unter ungünstigen Verwesungsbedingungen entstandenen Humusstoffe.

Die Humusarten, welche in diese Kategorie gehören, bilden gewissermaassen den Uebergang von den Verwesungs- zu den Fäulnissproducten und nähern sich in ihrer Beschaffenheit je nach äusseren Umständen mehr der einen oder der anderen Gruppe. Sie unterscheiden sich dadurch von dem Mull, dass sie dort, wo sie in grösserer Masse auftreten, fest und dicht zusammengelagert sind und eine s a u e r e Reaction besitzen. Eine passende Bezeichnung für diese Humusformen existirt zur Zeit noch nicht und die von *P. E. Müller* vorgeschlagene, nämlich „Torf", könnte zu Verwechselungen Anlass geben, da hierunter gemeinhin die Fäulnissproducte verstanden werden. Am meisten hat sich der Name „Rohhumus" eingebürgert, der hier mangels eines besseren beibehalten sein mag.

Die Bedingungen zur Entstehung von ***Rohhumus*** sind sehr verschiedener Art und sind im Allgemeinen dadurch charakterisirt, dass einer der zu einer intensiven Verwesung nothwendigen Factoren an der betreffenden Oertlichkeit in das Minimum geräth. Rohhumus kann sich daher bilden, wenn der Luftzutritt stark vermindert, die Temperatur eine niedrige (nordische Länder) und das Wasser gleichzeitig in grösseren Mengen vorhanden ist (Seeküsten, Hochgebirge) oder wenn die Feuchtigkeit mangelt (Trockenheit, bedingt durch die Witterung, Beschaffenheit und Lage des Bodens, Lichtstellung der Bestände) und der Boden arm an Nährstoffen ist. Demnach können alle Bedingungen, welche der Verwesung ungünstig sind, die Ablagerung humoser Stoffe in mehr oder weniger zersetztem Zustande als eine auf dem Boden dicht auflagernde Schicht veranlassen. Nach dem Orte ihrer Entstehung lassen sich die in diese Gruppe gehörenden Humusarten in folgende Unterabtheilungen bringen.

Der ***Steppen-Rohhumus*** bildet einen integrirenden Bestandtheil der Böden der Prairien, der Pampas und des Schwarzerdegebietes. Diese Böden[1]) sind vornehmlich mit einer Grasvegetation besetzt, die in den russischen Steppen überwiegend aus Stipa pennata besteht. Sparsamer finden sich Stipa capillata, Festuca ovina, Koeleria cristata; in den kirgisischen Steppen bilden Stipa capillata und Elymus junceus den Hauptbestand. Die Bodenmasse selbst besteht aus sehr feinkörnigem Material, welches in seinen Eigenschaften am meisten dem Löss entspricht und organische, aus der Zersetzung der Steppenpflanzen hervorgegangene Stoffe in verschiedener Menge (6—16 %) beigemischt enthält. Nach den Untersuchungen von *P. Kostytscheff* besass die Schwarzerde (Tschernosem) aus dem Gouvernement Ekaterinoslaw folgende mechanische Zusammensetzung:

Bodentiefe:	0—6 Zoll	6—12 Zoll	12—18 Zoll	24—30 Zoll	30—36 Zoll	36—42 Zoll.
Abschlämmbare Theile	34,5 %	35,3 %	35,7 %	37,0 %	37,7 %	30,3 %
Sand	50,5 „	50,5 „	54,3 „	56,1 „	56,7 „	50,8 „ .

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XII. 1889. S. 76 und Bd. XIV. 1891. S. 261. — Ferner: The Soil. Ausstellung in Chicago. S. 11.

Die ausserordentliche Feinkörnigkeit des Bodens, wie solche sich aus diesen Zahlen ergiebt, und die dichte Aneinanderlagerung der Bodenpartikel (Einzelkornstructur) bedingen eine wenig tiefe Durchfeuchtung (auch im Winter nicht über 1 m) der Vegetationsschicht, in Folge dessen nur solche Pflanzen die Bedingungen ihres Gedeihens finden, welche nur geringe Anforderungen an den Feuchtigkeitsvorrath des Bodens stellen und nur eine kurze Vegetationszeit besitzen. Wälder kommen daher bei einer derartigen Beschaffenheit des Bodens nicht vor und nur an solchen Orten, wo das Erdreich in Folge eines höheren Gehaltes an grobkörnigen Bestandtheilen für die atmosphärischen Niederschläge leichter bis in grössere Tiefen durchdringbar ist. Die grobkörnigen Böden werden also im Schwarzerdegebiet durch Wälder eingenommen, während sich die Steppe auf den feinkörnigen Bodenarten verbreitet. Steppe und Wald sind sonach durch die Bodenformation bedingt.

Dass nicht verschiedene klimatische Verhältnisse die Verschiedenheiten in den Pflanzenformen des Steppengebietes bedingen, beweist *P. Kostytscheff* an der Hand meteorologischer Beobachtungen, aus welchen hervorgeht, dass Wald- und Steppenformation bei gleichen klimatischen Verhältnissen vorkommen, sowie, dass die Steppenformationen, welche ihren Hauptpflanzengattungen nach vollständig identisch sind, unter den verschiedensten klimatischen Verhältnissen auftreten können. Dagegen lassen sich zahlreiche Beispiele anführen, welche für den Einfluss der physikalischen Beschaffenheit des Erdreiches auf die topographische Vertheilung der Vegetationsformen sprechen. So sind z. B. die grobkörnigen Bodenarten, welche an der nördlichen Grenze der Vegetation der Schwarzerde in das Gebiet derselben eindringen, immer von ihrer charakteristischen Waldvegetation begleitet. Auf Hügeln und natürlichen Erhöhungen, wo die feinsten Bodentheilchen ungehindert durch Regenwasser ausgewaschen und abgeführt worden sind, ist der Boden grobkörniger im Vergleiche mit der unveränderten Schwarzerde, und hier vertheilt sich ebenfalls die Vegetation nach der mechanischen Beschaffenheit des Bodens. Die Wälder kommen häufiger auf den Erhöhungen vor, die Steppen in den Niederungen. Eine eingehendere Untersuchung der Bodenarten dieser Region liefert einen weiteren Beweis für die geschilderten Beziehungen der mechanischen Zusammensetzung des Bodens zu den Vegetationsformen. Nach den Untersuchungen von *Dokutchaeff* zeigten die Bodenarten des Gouvernements Nijni-Nowgorod folgende Zusammensetzung:

	Sand.	Humus.	Bodenpartikelchen feiner als 0,01 mm.	Bodenpartikelchen gröber als 0,01 mm.
	%	%	%	%
1. Plateau-Schwarzerde (Schwere Thonböden) .	37,4	10,1	58,3	41,2
2. Thal-Schwarzerde (Thonböden)	59,4	6,3	35,5	63,2
3. Dunkelgraue Waldböden (Schwere Lehmböden)	66,4	4,1	28,3	70,8
4. Graue Böden (Mittelschwere Lehmböden) .	76,2	2,9	21,5	78,0
5. Leichte Lehmböden	81,4	1,9	17,3	81,4
6. Sandige Lehmböden	87,2	1,6	9,3	?
7. Lehmige Sandböden	91,8	1,1	7,0	?
8. Quarzsandböden	97,1	0,3	2,3	97,5.

Die Steppenpflanzenformationen erscheinen nur auf den ersten drei Gruppen dieser Böden, vielleicht auch ausnahmsweise auf den Böden der vierten Gruppe. Die grösste Zahl der Böden der vierten Gruppe, sowie alle Böden der folgenden Gruppen gehören ausnahmslos den Waldpflanzenformationen an. Für andere Oertlichkeiten des europäisch-asiatischen Steppengebietes können dieselben Thatsachen constatirt werden. So fand *Krassnoff* im Tian-Schan Steppenformationen, unabhängig von den verschiedensten klimatischen Verhältnissen in verschiedenen Zonen, von der Zone der Culturgewächse bis in die Alpenzone. Nach *Richthofen* fehlen die Wälder vollständig auf dem Löss und nach *Whitney* vertheilen sich Wälder und Prairien in Nord-Amerika in derselben Weise nach der Beschaffenheit des Bodens, welche dort eine derjenigen der europäisch-asiatischen Steppen sehr nahe stehende ist, wie folgende Analysen zeigen:

	Russische Schwarzerde. (Nach Rispolajenski u. Gordjagin.)			Prairieboden. (Nach Osborne.)	
	1.	2.	3.	1.	2.
Theilchen feiner als 0,01 mm	47,00	24,20	32,00	44,33	37,39
„ von 0,01—0,05 „	45,00	50,25	50,65	41,48	43,58
„ „ 0,05—0,25 „	7,50	20,25	16,80	3,35	2,48
„ gröber als 0,25 „	0,50	1,25	0,50	0,10	0,62.

Der Boden der Pampasse in Südamerika ist ohne Zweifel den eben erwähnten Böden ähnlich, weil der Löss bekanntlich eine ausserordentlich gleichmässige Zusammensetzung besitzt, überall, wo er vorkommt.

Bei Zusammenfassung dieser Thatsachen ergiebt sich zur Genüge, dass der Wald auf den grobkörnigen, die Steppe auf den feinkörnigen Bodenarten vorkommt, gleichviel, wie die klimatischen Verhältnisse sich gestalten. Diese Unterschiede werden dadurch hervorgerufen, dass im ersteren Fall die Pflanzen wegen der bedeutenden Durchlässigkeit und geringen Wassercapacität des Bodens das Sommerregenwasser ausnützen können, während sie im zweiten Fall wegen unzureichender Durchlässigkeit des Erdreiches vornehmlich auf die Winterfeuchtigkeit angewiesen sind, welche zwar im Frühjahr ziemlich bedeutende Mengen von Wasser repräsentirt, aber sehr bald zu Ende geht, weil die Verdunstung in solchen Böden eine sehr starke ist. Da die Pflanzen das Sommerregenwasser nicht genügend ausnützen können, müssen dieselben eine entsprechend kurze Lebensdauer besitzen.

Die Thatsache der allmählichen Verdrängung der Steppe durch die Wälder steht nicht im Widerspruch zu der hier in Kürze entwickelten Theorie *Kostytscheff*'s und zwar aus folgenden Gründen. Der Regen wird in ganz gleichen Mengen dem Walde und der Steppe zugeführt. Der Schnee aber vertheilt sich in anderer Weise; in Wäldern und in ihrer unmittelbaren Umgebung sammelt er sich gewöhnlich in grossen Mengen an, während auf der Steppe die Höhe der Schneedecke durch die der Steppenvegetation bestimmt und ein grosser Theil des Schnees durch den Wind weggeweht und in Bodeneinrisse und Vertiefungen abgelagert wird, aus welchen er im Frühjahre in Form von Schneewasser direct in die Flüsse und Bäche abgeführt wird. Deswegen ist der Boden im Walde und in seiner unmittelbaren Umgebung im Frühjahr viel feuchter als der Boden der Steppe. Rings um die Wälder wird ausserdem der Boden mit Waldstreu bedeckt, welch letztere das Wachsthum der Gräser verhindert und dem Boden seine Feuchtigkeit erhält. Auf solche Weise werden Be-

dingungen geschaffen, welche dem Wachsthum der Waldbäume günstig sind, und der Wald dringt langsam aber fortwährend in das Gebiet der Steppe ein. Unter dem Einfluss des Waldes verändern sich auch die physikalischen Eigenschaften des feinkörnigen Steppenbodens und dieser erhält bald alle Eigenschaften des krümeligen Waldbodens. Der Wald kann übrigens auch künstlich hergestellt werden dadurch, dass man die Gräser entfernt und den Boden durch Behacken locker erhält.

Der Rohhumus der Steppen verdankt also, wie nach dem Vorstehenden nicht bezweifelt werden kann, seine Ansammlung einer eigenthümlichen physikalischen Beschaffenheit des Bodens. Diese hindert im Sommer die Durchfeuchtung des Erdreiches und da ausserdem der Luftzutritt wegen der grossen Feinheit der Partikel und in Folge der öfteren Sättigung der oberen Schichten mit Wasser ein beschränkter ist, vollzieht sich die Verwesung der Wurzel- und Pflanzenreste unter ungünstigen Bedingungen. In gleicher Richtung wirkt auch die Winterfeuchtigkeit, indem durch die Ansammlung derselben die Durchlüftung des Bodens herabgesetzt wird. Der Humus häuft sich unter solchen Umständen in grösseren Mengen in dem Boden an und verleiht demselben die dunkle Farbe, welche zu der Bezeichnung „Schwarzerde“ Anlass gegeben hat. Wird der Boden bearbeitet und mit landwirthschaftlichen oder forstlichen Culturgewächsen angebaut, so geht die Farbe allmählich in eine graue und weissliche über, weil unter solchen Verhältnissen in Folge der guten Durchlüftung und Durchfeuchtung der Böden eine rasche Zersetzung der Humusstoffe erfolgt.

Die ausserordentliche Fruchtbarkeit der Schwarzerde ist hauptsächlich dem Umstande zuzuschreiben, dass die durch Verwitterung gebildeten löslichen Mineralstoffe vor der Auswaschung vollständig geschützt sind, weil die Sickerwasser in dem feinkörnigen Boden ausserordentlich gering sind und die gelösten Stoffe durch das weit verzweigte Wurzelgeflecht der Steppenpflanzen sofort aufgenommen werden. Die in die Pflanzen übergetretenen Mineralsubstanzen verbleiben weiterhin zum grössten Theil in dem aus jenem sich bildenden Humus und kommen, wenn dieser unter günstige Verwesungsbedingungen bei der Cultur des Steppenbodens versetzt wird, in grösseren Mengen den angebauten Gewächsen zu Gute, zumal die organischen Substanzen unter solchen Verhältnissen sehr rasch dem Zerfall unterliegen. Zur Orientirung über die chemische Beschaffenheit der russischen Schwarzerde mögen folgende von *P. Kostytscheff* veröffentlichte Analysen dienen:

Bestandtheile.	Gouvernements.								
	Nijni-Nowgorod[1])	Tula	Kursk	Tambow	Voronezh	Poltava	Saratow	Orenburg	Ufa
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Hygroskopisches Wasser .	—	10,54	6,51	7,59	5,00	6,77	7,69	7,24	5,11
Der trockene Boden enthält:									
Humus	10,76	8,31	6,22	7,84	5,76	9,35	7,36	16,34	9,61
Chemisch gebundenes Wasser	6,02	4,28	3,69	4,89	4,83	5,26	4,11	7,26	3,67
Glühverlust	16,78	12,59	9,91	12,73	10,59	14,61	11,47	23,60	13,28
Mineralsubstanzen . . .	83,22	87,41	90,09	87,27	89,41	85,39	88,53	76,40	86,72
Darin:									
1. Zeolithartige Substanzen:									
Kieselsäure	17,09	11,90	12,89	13,10	7,08	13,81	17,05	14,27	9,22
Thonerde	6,59	6,35	6,50	7,02	2,81	}10,37	}11,77	7,25	}7,48
Eisenoxyd	4,06	2,34	3,03	3,15	2,05			4,31	
Manganoxyd	0,01	0,10	0,04	0,12	0,07	0,13	0,11	?	?
Kalk	1,68	1,13	1,10	1,08	0,90	1,30	1,07	1,11	0,65
Magnesia	1,10	0,60	0,60	0,37	0,55	0,70	0,60	0,71	0,85
Kali	1,00	0,43	0,40	0,51	0,35	0,72	0,85	0,63	0,51
Natron	0,17	0,05	0,05	0,04	—	0,04	0,09	0,03	0,07
Phosphorsäure . . .	0,25	0,21	0,15	0,19	0,12	0,17	0,15	0,30	0,24
Schwefelsäure . . .	0,02	0,06	0,04	0,02	0,10	0,09	0,03	0,08	0,01
	31,97	23,17	24,80	25,60	14,03	27,33	31,72	28,69	19,03
2. Kohlensaurer Kalk . .	—	—	—	—	—	—	—	1,33	13,48
3. Thon und Sand . . .	51,25	64,28	65,31	61,71	75,51	58,07	56,84	46,41	54,35

Für die ausserordentliche Gleichmässigkeit in der chemischen Zusammensetzung des Tschernosems bis in grössere Tiefen sprechen folgende, gleichfalls von *Kostytscheff* ermittelte Zahlen:

Schwarzerde aus dem Gouvernement Ekaterinoslav.

Bestandtheile.	Tiefe der Schicht (Zoll).						
	0–6	6–12	12–18	18–24	24–30	30–36	36–42
	%	%	%	%	%	%	%
Hygroskopisches Wasser .	8,47	8,61	8,55	9,87	9,14	8,68	7,83
In dem trockenen Boden							
Humus	9,64	7,71	6,41	5,61	3,57	3,18	1,56
Chemisch gebundenes Wasser	3,98	2,46	2,14	2,22	2,21	2,23	2,02
Glühverlust	13,62	10,17	8,55	7,83	5,78	5,41	3,58
Mineralsubstanzen . . .	86,38	89,83	91,45	92,17	94,22	94,59	96,42
Darin:							
1. Zeolithartige Substanzen:							
Kieselsäure	17,19	17,91	18,01	18,24	18,63	18,70	16,71
Thonerde	7,29	7,64	7,81	7,89	7,95	7,90	7,02
Eisenoxyd	4,68	4,99	5,01	5,40	5,22	5,28	4,65
Manganoxyd	0,19	0,20	0,21	0,19	0,21	0,20	0,11
Kalk	1,52	1,38	1,41	1,38	1,44	1,46	1,77
Magnesia	1,51	1,67	1,66	1,60	1,73	1,71	1,42
Kali	0,70	0,78	0,77	0,80	0,82	0,81	0,72

[1]) Nach *C. Schmidt.* Vergl. ferner dessen Arbeiten: Chemische Untersuchung der Ackerkrume und des Untergrundes aus acht Orten der Schwarzerderegion und ihres Grenzgebietes. Dorpat 1880, und: Baltische Wochenschrift. 1881. Nr. 10. S. 265. Nr. 11. S. 280.

Bestandtheile.	Tiefe der Schicht (Zoll).						
	0—6 %	6—12 %	12—18 %	18—24 %	24—30 %	30—36 %	36—42 %
Natron	0,06	0,10	0,10	0,11	0.11	0,10	0,08
Phosphorsäure	0,21	0,19	0,18	0,17	0,17	0,17	0,15
Schwefelsäure	0,22	0,02	0,02	0,03	0,03	0,33	0,04
	33,57	34,88	35,18	35,81	36,31	36,66	32,67
2. Kohlensaurer Kalk . . .	1,41	1,08	1,08	1,31	1,18	1,13	14,04
3. Thon und Sand	54,82	53,93	54,88	55,07	56,74	57,11	49,85

Dem Steppen-Rohhumus kann hier gleich eine ähnlich beschaffene Humusart angereiht werden, welcher man zweckmässig die Bezeichnung *„Schlamm-Rohhumus“* beilegen kann, und die im Gemisch mit verschiedenen sehr feinkörnigen mineralischen Bestandtheilen (Thon, Sand, Mergel) den sogen. Schlick bildet, der sich an den Ufern oder Mündungen der Flüsse ablagert und dort theilweise zur Bildung der „Marschen“ Veranlassung giebt. Diese Humusart ist ursprünglich aus organischen Resten pflanzlichen und thierischen Ursprungs hervorgegangen, indem Wasserpflanzen und Wasserthiere an trockeneren Stellen des Flussbettes der Zersetzung unterlagen, im feinvertheilten Zustande bei stärkerem Andrang der Fluthen mit fortgeführt und schliesslich im Verein mit erdigen Stoffen abgelagert wurden. Der Gehalt der betreffenden organischen Substanzen an humussauren Salzen sowohl, als auch die Art der Bildung derselben, deutet darauf hin, dass sie ihre Entstehung einem Zersetzungsprocesse zu verdanken gehabt haben, der theilweise unter ungünstigen Verwesungsbedingungen stattgefunden hat. Die Humusmenge in den humosen Marschböden stellt sich auf etwa 5—10%.

Der *Haide-Rohhumus* tritt in solchen Gegenden auf, in welchen die Boden- und klimatischen Verhältnisse dem Wachsthum der Haide (Calluna vulgaris) derart günstig sind, dass diese alle übrigen Gewächse fast vollständig verdrängt und den Boden mit einer dichten Decke überzieht[1]). Auf dem Geschiebesand sind hauptsächlich Walddevastationen die Ursache des massenhaften Auftretens der Haide. Der eigentliche Haidesand ist durch einen braunen oder schwarzen Sandstein (Ortstein) gekennzeichnet, der in geringer Tiefe unter der Erdoberfläche liegt. Neben der Haide kommen in einzelnen Haidegegenden vor: der Besenpfriem (Sarothamnus scoparius), Ginsterarten (Genista anglica u. G. pilosa), die Heidelbeere (Vaccinium Myrtillus), die Preisselbeere (Vaccinium Vitis idaea), ferner: der Stechginster (Ulex europaeus), Hungergräser u. s. w.

Im Allgemeinen sind die Haidegebiete charakterisirt durch trockene Beschaffenheit des Bodens und somit ist der Haide-Rohhumus eine Humusart, welche einer Verwesung der Haidepflanzen bei mangelnder Feuchtigkeit ihre Entstehung verdankt. In jüngeren Zersetzungsstadien erscheint der Haidehumus von dunkler Farbe und von wenig fasriger, dichter Structur; in älteren Stadien ist er schwarzbraun bis schwarz, von torfähnlicher Beschaffenheit (Haidetorf), sehr homogen, im feuchten Zustande fast speckig und nach dem Trocknen fest zusammengebacken.

[1]) *A. Salfeld.* Die Kultur der Haideflächen Nord-West-Deutschlands. Hildesheim 1870. Gerstenberg'sche Buchhandlung.

Der ***Wald-Rohhumus*** bildet sich zunächst aus den Streuabfällen, wenn diese in Folge gewisser Witterungsverhältnisse und Wachsthumszustände der Bäume bei verminderter Feuchtigkeit oder auch bei zum Theil beschränkter Luftzufuhr der Verwesung unterliegen. Weiterhin tragen auch die auf dem Rohhumus sich mit Vorliebe ansiedelnden Pflanzen (Haide- und Beerkräuter) durch ihr dichtes Wurzelgeflecht und ihre eigenen Abfälle zur Vermehrung dieser Ablagerungen bei[1]).

Die für den Rohhumus der Wälder charakteristischen Pflanzen sind hauptsächlich: die Haide (Calluna vulgaris), die Preisselbeere (Vaccinium Vitis idaea), die Heidelbeere (Vaccinium Myrtillus), der Wiesen-Wachtelweizen (Melampyrum pratense), die Schattenblume (Majanthemum bifolium), der Siebenstern (Trientalis europaea) im Gebirge und im Norden, Rhododendron im Gebirge, die Farnkräuter (Pteris aquilina und Aspidium-Arten), der Bärlapp (Lycopodium clavatum u. L. complanatum), verschiedene Moose (darunter: Hypnum Schreberi und H. purum, Hylocomium Triquetrum, Sphagnum Girgensohnii, Leucobryum vulgare).

Ueberall, wo die Bildung von Rohhumus beginnt, ist die Streudecke mehr oder weniger dicht zusammengelagert, während dieselbe dort, wo Mull entsteht, eine lockere Beschaffenheit besitzt. Daher lässt sich schon aus dem Zustande der Streudecke erkennen, ob man es mit der einen oder anderen Humusart zu thun hat. Der Rohhumus bildet meist mächtigere Ablagerungen, die in weniger zersetztem Zustande faserige Massen von mässig lockerer Structur, in älteren Stadien, sowie bei mangelndem Zutritt der Luft dagegen dichte, fast torfähnliche Massen (Trockentorf[2]) darstellen. Im ersteren Falle ist der Rohhumus noch einer weiteren Zersetzung fähig, die sich in einigen Jahren vollzieht, im letzteren Fall dagegen erweist er sich von grosser Beständigkeit.

In Bezug auf die Leichtigkeit und Schnelligkeit, mit welchen die Ablagerung von Rohhumus voranschreitet, zeigen die verschiedenen in Betracht kommenden Pflanzenreste bemerkenswerthe Unterschiede, die nach *E. Ramann* für die Baumarten durch folgende Reihe charakterisirt sind: Buche, Fichte, Eiche, Kiefer. Für Tanne, Lärche und Birke fehlen noch die betreffenden Beobachtungen. Für die Bodenpflanzen wird von dem genannten Autor folgende Reihe aufgestellt: Haide, Preisselbeere, Heidelbeere, Farnkraut, Moos, besonders die dichte Polster bildenden Arten. Je nach dem Material, dem Zersetzungsgrade und den äusseren Bedingungen besitzt der Rohhumus eine verschiedene Consistenz und Farbe.

Der ***Wiesen-Rohhumus*** stellt eine Humusart dar, welche in dem Boden der Wiesen aus einer Zersetzung der alljährlich absterbenden Wurzeln der Gräser und anderer Pflanzen bei beschränktem Luftzutritt und einem höheren Feuchtigkeitsgehalt des Erdreiches hervorgeht. Der Wiesenboden ist für die Luft schwer zugänglich, weil er nicht bearbeitet wird, und wegen seiner Lage an den tiefsten Stellen des Areals mit einem höheren Feuchtigkeitsgehalt versehen ist. Dazu kommt, dass das reich verzweigte Wurzelgeflecht der Wiesenpflanzen die luftführenden Poren zum grossen Theil besetzt hält. In Folge dieser Beschaffenheit des Erdreiches verläuft die Zersetzung

---

[1]) *E. Ramann.* Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. Berlin. 1893. S. 230.

[2]) Die bisher zusammenfassend als Rohhumus bezeichneten Ablagerungen in zwei Unterabtheilungen (Rohhumus und Trockentorf) zu trennen, wie dies *Ramann* vorgeschlagen hat, erscheint dem Verfasser nicht opportun, weil diese Trennung sich nicht scharf durchführen lässt und der „Trockentorf“ meistens aus dem „Rohhumus“ hervorgeht.

der organischen Bestandtheile sehr langsam und diese sammeln sich allmählich in mehr oder weniger grossen Mengen als Rohhumus an und tragen in demselben Maasse wegen ihrer grossen Wassercapacität zu einer Vermehrung des Feuchtigkeitsgehaltes des Bodens bei. Schliesslich tritt ein Zeitpunkt ein, wo die Luftmenge derart in das Minimum geräth, dass Fäulnissprocesse in die Erscheinung treten und die sich ablagernden Humusstoffe eine torfähnliche Beschaffenheit (Wiesentorf) annehmen. Der Wiesenboden besitzt alsdann, wie man sagt, einen „anmoorigen“ Charakter, der durch das Verschwinden der Gräser (Gramineen) und durch das massenhafte Auftreten von Sauergräsern (Carex-, Scirpus-Arten u. s. w.) und verschiedenen anderen Sumpfpflanzen äusserlich wahrnehmbar wird.

Wie aus diesen Darlegungen erhellt, gehen die Rohhumusstoffe schliesslich unter ungünstigen Bedingungen der Verwesung in Producte über, welche den eigentlichen Fäulnissstoffen sehr nahe stehen und den Uebergang zu diesen bilden.

2. Die Fäulnissproducte.

Die unter Luftabschluss, besonders in stagnirendem Wasser entstehenden Humusstoffe sind gewöhnlich von dunkelbrauner bis schwarzbrauner Farbe, von verschiedener Consistenz und lassen noch deutlich die Structur der Pflanzenreste erkennen, aus welchen sie durch Humification hervorgegangen sind. Das Product, *Torf* oder „saurer Humus“ genannt, zeichnet sich durch grosse Beständigkeit aus und unterliegt nur unwesentlichen Veränderungen, wenn die Masse unter günstige Zersetzungsbedingungen (Verwesung) gebracht wird. Dass niedere Organismen bei den in Rede stehenden Processen nicht betheiligt seien, ist wohl nicht anzunehmen, weil, wie früher dargethan wurde, die Umbildung der organischen Stoffe ganz allgemein an die Lebensthätigkeit chlorophyllfreier Pflanzen geknüpft ist und überdies die bei der Vertorfung entstehenden gasförmigen sowie die festen Producte eine den überhaupt bei der Fäulniss von Pflanzenresten entstehenden analoge Beschaffenheit besitzen. Gegen diese Auffassung spricht weder die Thatsache, dass der Torf mit antiseptischen Eigenschaften ausgestattet ist[1]), noch die von einigen Forschern[2]) gemachte Beobachtung, dass in der fertig gebildeten Torfsubstanz Bacterien und verwandte Lebwesen nicht vorgefunden wurden, da in diesen Fällen nicht die jüngeren Zersetzungsstadien der Substanz in Betracht gezogen wurden, in welchen, wie aus Allem, was wir gegenwärtig von den Fäulnisserscheinungen wissen, zweifellos Mikroorganismen ihre Thätigkeit entfalten.

Weiterhin wird allerdings diese Thätigkeit aufgehoben, sobald sich eine gewisse Menge von organischen Säuren (Humussäuren) gebildet hat, weil diese die Entwickelung der Bacterien erschweren und schliesslich verhindern. Dadurch wird gleichzeitig die fernere Zersetzung der organischen Substanz in einem ausserordentlichen Grade beeinträchtigt und diese erfolgt alsdann wahrscheinlich auf rein chemischem Wege (Ulmification oder Humification). Aehnliche Erscheinungen machen sich auch bei der Rohhumusbildung geltend, welche gleichergestalt mit dem Auftreten von Humussäuren verknüpft ist.

---

[1]) *Gaffky.* Archiv für klinische Chirurgie. Bd. 28. Heft 3. — *Neuber.* Ibid. Bd. 27. Heft 4 und Bd. 28. Heft 3. — *C. Reinl.* Prager medicin. Wochenschrift. 1886. Nr. 13—15.

[2]) *J. J. Früh.* Ueber Torf und Dopplerit. Zürich 1883. S. 38.

Die Oertlichkeiten, an welchen durch Fäulniss von abgestorbenen Pflanzentheilen unter Wasser mehr oder minder mächtige Lager von Torf entstehen, werden mit „Moor“ bezeichnet. Derartig versumpfte Länderstriche finden sich überall dort, wo in Folge von Impermeabilität des Bodens oder durch fortwährende Infiltrationen Wasser sich ansammelt und dauernd den Boden durchnässt resp. bedeckt. Die Pflanzen, welche sich an solchen Oertlichkeiten ansiedeln und durch ihre alljährlich absterbenden Polster unter Wasser zur Entstehung der Torflager Veranlassung geben, sind je nach der chemischen Beschaffenheit und Menge des Wassers verschiedener Art, weisen aber gewisse charakteristische Beziehungen zu ihrem Standorte auf, welche zur Aufstellung von typischen Merkmalen der verschiedenen Torfmoore geführt haben. Man unterscheidet hiernach im Wesentlichen Grünlandsmoore und Hochmoore [1]).

a) Die Grünlandsmoore,

auch Niederungs-, Thal-, Flach-, Wiesen-, Rasen-, Kalk-, Röhricht-, Rohrmoore, Moos (pl. Möser), Riede, infraaquaticae (*Lesquereux*) genannt, bilden sich entweder an den Ufern und in der nächsten Umgebung von fliessenden Gewässern oder auch in Seebecken und zwar meist vom Rande aus. Sie kommen daher vornehmlich in Niederungen vor, seltener in Gebirgsgegenden.

Die Vegetation, welche unter den bezeichneten Oertlichkeiten zur Moorbildung Veranlassung giebt, besteht hauptsächlich aus Gräsern (Phragmites communis, Glyceria spectabilis und aquatica) oder aus sogen. Sauer- oder Riedgräsern (Cyperaceen), unter denen sich namentlich Carex stricta, panniculata, ampullacea, vesicaria, canescens, paradoxa, Juncus- und Scirpusarten besonders bemerklich machen, ferner aus Moosen (Hypnum intermedium, giganteum, aduncum, scorpioides, stellatum, vernicosum, cordifolium, nitens, Dicranum palustre, Philonotis fontana, Gymnocybe palustris, Scapania undulata, Bryum pseudotriquetrum). Ausser diesen Pflanzen, von welchen die Süss- und Sauergräser, sowie die Hypneen in Bezug auf die Moorbildung die wichtigsten sind, treten noch zahlreiche andere Species auf, deren vollständige Aufzählung an dieser Stelle füglich unterbleiben kann [2]).

In Folge der Verschiedenheit der Entstehung, der Lage und der Beschaffenheit und Menge des Wassers weisen die einzelnen Grünlandsmoore auch eine verschiedene Flora auf. Wo sich dieselben zu bilden anfangen, sind gewöhnlich Phragmites, Typha und Glyceria spectabilis vorherrschend, weshalb man diese Moore mit „Arundinetum“ (von Arundo Phragmites = Phragmites communis) bezeichnet. Haben die Seggen (Carex-, Scirpus- und Juncus-Arten) hauptsächlich zur Bildung des Moores Veranlassung gegeben, so nennt man dasselbe Caricetum, und „Hypnetum“ ist ein

[1]) ***F. Sitensky.*** Ueber die Torfmoore Böhmens. Prag. 1891. — Daselbst eine vollständige Zusammenstellung der Litteratur (S. 221—224).

Besonders wichtige Arbeiten:

A. Grisebach. Ueber die Bildung des Torfes in den Emsmooren. Göttingen. 1846. — ***O. Sendtner.*** Die Vegetationsverhältnisse Südbayerns. München. 1854. — ***F. Senft.*** Die Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildungen. Leipzig. 1862. — ***J. J. Früh.*** a. a. O. — ***H. von Post.*** Landw. Jahrbücher. Bd. XVII. — ***E. Ramann.*** Forstliche Bodenkunde. Berlin. 1893.

[2]) Eine vollständige Uebersicht der Flora der Moore findet man in dem vorbezeichneten Werk von ***Sitensky.***

Moor, welches hauptsächlich den oben bezeichneten Moosen, besonders den Hypneen seinen Ursprung verdankt. Gemischte Bildungen erhalten eine entsprechende Bezeichnung; so benennt man z. B. ein aus Cyperaceen und Phragmites entstandenes Moor mit „Cariceto-Arundinetum".

In der Regel geht die Moorbildung von Phragmites, Typha, Glyceria, Scirpus, d. h. von Pflanzen aus, welche mit ihren Wurzeln im Wasser und mit ihren oberirdischen Organen über demselben wachsen. Sobald die organischen Abfallreste sich derart angehäuft haben, dass die Torfschicht der Wasseroberfläche näher gerückt ist, siedeln sich die Carex-Arten an, welche nun schon überwiegend über dem Wasser vegetiren und sich allmählich immer weiter ausbreiten. Die Seggen bilden manchmal grosse Stöcke, Bulten, in Bayern Pockeln, Porzen, in Schwaben Hoppen und in Ungarn Zsombégs genannt, die mit Phragmites oft nur die einzig festeren und bis 0,4 m hohen Punkte der schwankenden Moorfläche sind. In Bayern trägt zu deren Bildung hauptsächlich Schoenus ferrugineus und nigricans bei, anderenorts Carex stricta. Wo sich in Seen und Teichen die moorbildenden Pflanzen ausbreiten, wird der Wasserspiegel vom Rande nach der Mitte allmählich eingeengt, bis schliesslich nur noch ein kleiner Wasserspiegel über der tiefsten Stelle des Beckens übrig bleibt, der indessen auch noch mit der Zeit verschluckt und ausgefüllt wird.

In Folge dieses Fortschreitens der Moorbildung bleibt der innerste Theil am feuchtesten und nimmt der Wassergehalt der Masse unter diesen Umständen gegen den Rand hin ab, ein Merkmal, wodurch sich viele Grünlandsmoore schon äusserlich von den Hochmooren unterscheiden.

In den Flussniederungen bilden sich die Grünlandsmoore vornehmlich dort, wo die Ufer flach sind oder in Folge von Anstauungen häufig sich wiederholende Ueberschwemmungen stattfinden. Bei geringerem Gefälle finden leicht derartige Stauungen, verbunden mit einer Versumpfung der Ufer statt, weshalb die Geschwindigkeit des Stromlaufes für die Moorbildung von grossem Belang ist. Leider fehlt es bei den einzelnen Flüssen an Ermittelungen über das Maximalgefälle, bei welchem Moorbildung an ihren Ufern und Auen, sobald sie flach sind, stattfindet, und über das Minimalgefälle, unter welchem ihre Ufer trocken bleiben. Nach den, allerdings spärlichen Beobachtungen, welche *O. Sendtner* nach dieser Richtung hin angestellt hat, kann angenommen werden, dass bei grossen Strömen schon bei einem Gefäll von 3,93 : 10000 Moorbildung beseitigt wird, bei kleinen Flüssen mit Serpentinen erst bei 20,5, dass aber an diesen Moorbildung stattfindet noch bei 17,39, während sie bei den grossen Strömen erst bei 6,8 (Inn) und 3,01 auf 10000 (Donau) Platz greift.

Für die Richtung, in welcher die Moorbildung sowohl in grösseren Seen als auch in den breiten fliessenden Gewässern, sofern ihre Stromrichtung eine nördliche resp. südliche oder annähernd eine solche ist, fortschreitet, scheint nach den diesbezüglichen Untersuchungen von *J. Klinge*[1]) die herrschende Windrichtung von grossem Einfluss zu sein. Dieser Forscher fand nämlich, dass die Ufer der Seen im Ostbaltikum, Bayern, Salzburg u. s. w. als auch der Flüsse, wenn eine nicht zu heftige Strömung senkrecht zur Richtung des herrschenden Windes sich stellt und ferner der Fluss eine solche Breite hat, dass der Wind auf dem Spiegel schon be-

[1]) Botanische Jahrbücher. Bd. XI. 1889. S. 265.

deutendere Wellen hervorzubringen vermag, Grünlandsmoorbildungen an der vor dem herrschenden Wind geschützten Seite zuerst auftreten und sich von dort ausbreiten. Das Südwestufer der ostbaltischen Seen ist stets das verwachsene, das Nordostufer aber bei grösserer Seeausbreitung das von der Vegetation unbesiedelte. Im übrigen Europa sind die westlichen Ufer die von der Ufervegetation bevorzugten. Ebenso wird bei den Flüssen das unter dem Windschutz liegende Ufer, welches sich verflacht, der Vegetation preisgegeben. Die Angriffsseite und die Verwachsungsrichtung decken sich demnach vollständig mit der herrschenden Windrichtung. Bei Seen befindet sich aus diesem Grunde der von den Verwachsungsmassen zuletzt noch offen gelassene Rest des Seespiegels nicht über der tiefsten Stelle des Sees, die im Mittelpunkte desselben zu liegen pflegt, sondern derselbe ist stets nach dem der herrschenden Windrichtung entgegengesetzt gelegenen Ufer hingedrängt.

Der Untergrund der Grünlandsmoore ist sehr verschiedener Art und kann von kiesiger, sandiger, sandig-thoniger und mergeliger Beschaffenheit sein. Er ist gewöhnlich mit Schlammabsätzen, aus Humus, Kalk, Thon oder Lehm bestehend, überzogen. In Norddeutschland, wo die Grünlandsmoore überall dem Laufe der Flüsse folgen, bildet in der Regel Sand, seltener sandiger Lehm, die Unterlage, welche mit schlammigem Humus überdeckt ist. In Südbayern ruhen die Grünlandsmoore auf Kies (Glacialschotter) auf, der fast überall mit einer mehr oder weniger mächtigen Schicht von Alm (Moorkalk) überzogen ist. In Rücksicht auf diese Verschiedenheiten in der Beschaffenheit der Unterlage hat die Annahme, dass letztere für das Auftreten der charakteristischen Pflanzen der Grünlandsmoore maassgebend sei, nichts Wahrscheinliches, vielmehr wird nach den zahlreichen diesbezüglichen Beobachtungen angenommen werden müssen, dass die Moorpflanzen ein an Nährstoffen, besonders an Kalk, reiches Wasser zu ihrem Gedeihen erfordern und dass solches allein die Ursache der typischen Flora der Grünlandsmoore abgiebt.

Die Mächtigkeit der Torfschicht in den Grünlandsmooren ist eine sehr verschiedene; sie beträgt in den norddeutschen Mooren 1—2 m, seltener 2,5—3 m. Anders ist es dagegen in Südbayern, wo nach *Sendtner* das Erdinger Moos eine bis 6,5 m mächtige Torflage, das Neuburger Donaumoos an manchen Stellen eine solche von 6,5—9,5 m besitzt.

b) Die Hochmoore,

auch als Moos-, Sphagnum-, Haidemoore, Filze, Lohen, supraaquaticae (*Lesquereux*) u. s. w. bezeichnet, kommen hauptsächlich in muldenförmigen Vertiefungen sowohl der Gebirgs- als auch der Tiefländer vor und besitzen häufig eine bedeutende Flächenausdehnung.

Die Hochmoorbildung wird in allen Fällen durch eine im stauenden Wasser schwimmende Vegetation der sogen. Torfmoose, welche der Gattung Sphagnum angehören, eingeleitet und weiter fortgeführt. Dadurch unterscheiden sich zunächst schon die Hochmoore von den Grünlandsmooren, in welchen die Sphagneen vollständig fehlen. Sobald diese Moose die vorhandene Wassermasse derart in sich aufgesogen haben, dass kein Wasser mehr über ihnen zu bemerken ist, dann erscheinen auf ihrer schwammigen Masse verschiedene andere charakteristische Pflanzenarten, vor Allem die Haiden (Calluna vulgaris und Erica tetralix), die Moosbeere (Vaccinium Oxycoccus), die Rauschbeere (Vaccinium uliginosum), das Wollgras (Eriophorum

vaginatum), ferner der Sumpfporst (Ledum palustre), die Gränke (Andromeda polyfolia), der Gagel (Myrica Gale), der Sonnenthau (Drosera rotundifolia, longifolia u. obovata) und vollenden mit jenen und einigen anderen Moosen (Polytrichum strictum) das werdende Moor.

Je nach dem Vorwiegen der moorbildenden Species bezeichnet man die Torfarten als Sphagnetum oder Eriophoretum, oder die gemischten Bildungen als Sphagneto-Eriophoretum resp. Vaccinieto-Sphagnetum und Vaccinieto-Callunetum u. s. w.

Die Gattung Sphagnum ist ausserordentlich formenreich. Hauptsächlich kommen in Betracht: Sphagnum cymbifolium, cuspidatum, capillifolium, molluscum, acutifolium, medium, variabile, subsecundum, teres, cavifolium, rigidum, molle, fimbriatum, Girgensohnii. Diese Moose sind nicht allein die wichtigen und wesentlichen Bildner der meisten Hochmoore, sondern auch durch ihren Bau ganz besonders geeignet, das Wasser zurückzuhalten[1]).

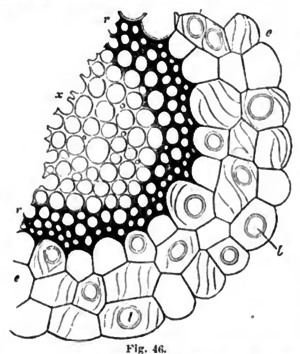


Fig. 46.
Querschnitt des Stammes von Sphagnum cymbifolium (90). x. Innere Zellen mit farblosen weichen Wänden; r. Rindenzellen nach Aussen immer enger und dickwandiger werdend; e. e. Hautschicht; l. Löcher, durch welche die übereinanderstehenden Zellen mit einander communiciren. (Nach *J. Sachs.*)

Der Stengel (Fig. 46) besteht im Innern aus langgestreckten Zellen mit farblosen weichen Wänden, um welche Tüpfelzellen, die nach Aussen immer enger und dickwandiger werden, ringförmig gelagert sind. Die Zellen des Hautgewebes haben dünne farblose Wände und sind viel weiter als jene des inneren Gewebes. Die Wandungen zeigen zuweilen dünne, schraubig verlaufende Verdickungsbänder und sind nach Aussen durch grosse Löcher geöffnet, ebenso unter einander durch solche in Communication. Im ausgebildeten Zustand enthalten sie nur Luft oder Wasser, welches in ihnen als in einem sehr wirksamen Capillarapparat emporsteigt.

Die mit breiter Basis dem Stamm und den Zweigen aufsitzenden Blätter (Fig. 47) sind aus zweierlei regelmässig geordneten Zellen zusammengesetzt, nämlich aus grossen, weiten, ungefähr lang rhombischen und aus engen, schlauchartigen, die zwischen jenen hinlaufen, sie begrenzen und unter sich netzartig verbunden sind. Sie sind zwischen jenen gewissermaassen eingeklemmt. Die grossen Zellen verlieren ihren gesammten Inhalt, erscheinen daher farblos; ihre Wände zeigen unregelmässige, weitläufig gewundene schmale Schraubenbänder, ausserdem grosse Tüpfel, deren jedes von einer Verdickungsschicht umrandet ist, während die das Tüpfel umschliessende Hautstelle resorbirt wird. Auf diese Weise entstehen grosse, meist kreisrunde Löcher in der Membran der farblosen Zellen. Die dazwischen liegenden schlauchförmigen, engen Zellen behalten ihren Inhalt, bilden Chlorophyllkörner und stellen also das ernährende Blattgewebe dar, dessen Gesammtfläche aber geringer ist als die des farblosen Gewebes *(J. Sachs)*.

---

[1]) *J. Sachs.* Lehrbuch der Botanik. Leipzig. 1870. S. 78 u. 314.

In Folge der eigenthümlichen Beschaffenheit der mit Löchern versehenen Zellen der Stengel und Blätter kann das Wasser der Sümpfe, auf welchen die Sphagneen wachsen, emporgehoben und den Gipfeltheilen zugeleitet werden. Daher kommt es, dass die beständig aufwärts wachsenden Pflanzen auch dann, wenn ihre Rasen schon hoch über dem Niveau des Wassers stehen, doch bis zum Gipfel hinauf schwammartig durchwässert sind.

Die geschilderten Eigenschaften der Torfmoose sind die Ursache, dass mit dem Erscheinen derselben im Wasser der Mulden gleich die Bildung des Hochmoortorfes angeregt wird. Die gebildete nasse Torfmoosdecke ist für Luft fast vollständig undurchdringlich, so dass unter ihr die Pflanzenreste der Fäulniss, resp. der Vertorfung unterliegen. In Folge der reichlichen Feuchtigkeit wachsen die Sphagneen auf der ihnen untergelagerten Torffläche zu einer riesigen schwammartigen Masse empor, die immer höher das Wasser mit sich zieht und das zugeführte atmosphärische Wasser in immer grösseren Mengen aufsaugt, über die Ränder sich ausbreitend und unter günstigen Verhältnissen das ganze Thal bedeckend. In ebenen Lagen ist die Oberfläche der Hochmoore gewöhnlich gewölbt, eine Eigenschaft, welcher dieselben ihre Bezeichnung zu verdanken haben. So sind nach *Sendtner* die Ränder des Murner Filzes bei Wasserburg 7,3 m, jene des Pangerfilzes bei Rosenheim 4,5—6 m niedriger als die Mitte. Im Isergebirge, im Erzgebirge und Böhmerwalde finden sich nach *Sitenky* einige Hochmoore, deren Mitte sich 2—3 m über ihren Rand erhebt. *Grisebach* giebt an, dass die Wölbung auf dem grossen Arenenburger Moor in Ostfriesland etwa 6,4 m beträgt, während das Düvels Moor bei Bremen nach *De Luc* eine Steigung nach der Mitte von 11,5 m zeigt. Die Hochmoore sind also da am höchsten, wo ihre Bildung begonnen hat, d. h. wo ihre Schichten am ältesten oder mächtigsten sind, was meistens in der Mitte zu sein pflegt. Diese Wölbung ist zugleich die nächste Ursache der Erweiterung des Hochmoores an seinen Rändern, denn, wo die Moordecke einige Mächtigkeit erlangt hat, wird dieselbe durch ihre eigene Schwere derart zusammengepresst, dass an ihren Seitenrändern das angestaute Wasser hervortritt, die Ufer des ursprünglichen Gebietes überschreitet und sie allmählich so durchnässt, dass sich an der Peripherie eine Zone von Sphagneen ansiedeln kann. Sobald sich eine neue Mooszone gebildet hat, ist die Veranlassung zu weiterer Moorbildung gegeben, welche jedoch immer niedriger bleiben wird als die ältere, weil sich jene später entwickelt hat und diese selbst noch in der Dicke weiter wächst. In dieser Weise lässt sich einerseits die Entstehung der Wölbung, andererseits die Thatsache erklären, dass das Hochmoor in die Breite fortwächst und vielfach an den Rändern feuchter ist als im Innern.

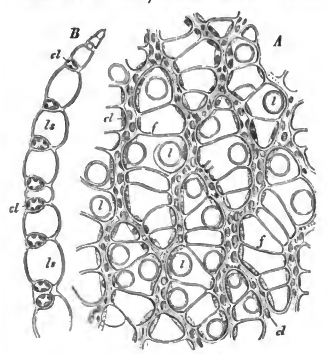


Fig. 47.

Sphagnum acutifolium (90). A. ein Theil der Blattfläche von oben gesehen. cl. chlorophyllhaltige schlauchförmige Zellen. f. die Schraubenbänder. l. die Löcher der leeren grossen Zellen. — B. Querschnitt des Blattes; cl. die chlorophyllhaltigen, ls. die grossen leeren Zellen. (Nach *J. Sachs.*)

Ueberall, wo die äusseren Factoren (die Nässe und bestimmte Beschaffenheit des Wassers), an welche das Gedeihen der moorbildenden Pflanzen geknüpft ist, unverändert fortwirken, vermehren sich die sowohl in den Hoch- wie in den Grünlandsmooren ansammelnden Humusmassen und nimmt das Torflager an Mächtigkeit stetig zu, ein Vorgang, den man mit „Wachsen des Torfes“ bezeichnet und der je nach Umständen mit verschiedener Geschwindigkeit vor sich geht. Jede durchgreifende Veränderung in den Lebensbedingungen der Moorpflanzen hat jedoch in der Regel eine Unterbrechung in der Torfbildung und in der Vermehrung der abgelagerten organischen Stoffe zur Folge, weil die Vegetation jener Gewächse nunmehr aufhört und solche anderer Art, gewöhnlich Flechten oder genügsame Gräser, sich ansiedeln, welche den Boden allmählich für das Wachsthum anspruchsvollerer Gewächse vorbereiten. Derartige Unterbrechungen in der Vegetation der Moorpflanzen können veranlasst sein: durch länger andauernde abnorm trockene Witterung, durch Aufhören der Wasserzufuhr in Folge von Versiegen der Quellen, von Flusscorrectionen (Gradlegungen, Ausbaggerungen u. s. w.), von Entwässerungen oder durch Ueberdeckungen mit mineralischen Böden (Steinschutt, Sand, Thon, Lehm oder fruchtbare Erde). In allen solchen und ähnlichen Fällen hört das Wachsthum des Moores vorübergehend oder für die Dauer auf; ersteres, wenn weiterhin von Neuem die Bedingungen zur Moorbildung gegeben, letzteres, wenn diese dauernd beseitigt sind. So kann z. B. die durch trockene Witterung, durch Wasserentzug oder durch Abtorfung unterbrochene Vegetation der Moorpflanzen sich weiterhin fortsetzen, wenn die zur Torfbildung gehörigen Bedingungen neuerdings gegeben sind. Dasselbe ist auch der Fall bei Uebererdungen, sobald das Wasser wiederholt eine Versumpfung herbeizuführen vermag. Ein Beispiel hierfür liefert das Torflager bei Reuti in Südbayern (Grünlandsmoor), in welchem nach *Sendtner* die Torfmasse durch zahlreiche Zwischenlager von Thon in ungleich starke Schichten abgetheilt ist, wie Fig. 48 zeigt. Fälle vorbezeichneter Art sind indessen selten, insofern die Veränderungen in der geschilderten Richtung meist anhaltend sind.

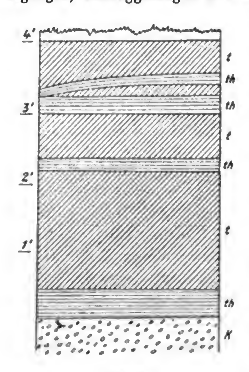


Fig. 48.
Profil des Ulmerriedes bei Reuti. t. Torf. th. Thon. k. Kies.

In der Regel wird durch Ueberdeckung mit Mineralboden oder durch natürliche oder künstliche Entwässerung das Wachsthum der Moore aufgehoben. Auf der trockenen Oberfläche der Grünlandsmoore siedeln sich verschiedene Sauergräser (Carex acuta, flacca, Juncus filiformis), Süssgräser (Aira caespitosa, Anthoxanthum odoratum, Agrostis stolonifera, Alopecurus pratensis, Poa trivialis, Festuca pratensis) und andere Pflanzen (Cardamine pratensis, Menyanthes trifoliata, Trifolium hybridum u. s. w.) oder bei sehr trockener Beschaffenheit ganze Massen von Moosen (Bryum caespititium und intermedium) in zahlreichen Häufchen an, welche die ganze Fläche bedecken. Auf den entwässerten Hochmooren stellen sich zwischen den verkümmernden Torfmoosen Flechten, hauptsächlich Cladonien (Cladonia furcata, fimbriata, ochro-

chlora, macilenta, uncinata, in gebirgigen Lagen auch Cl. bellidiflora, Floerkeana, deformis), zuerst spärlich, dann in grösserer Menge ein. Wenn sich in Folge der herrschenden Trockenheit die Zahl der früheren Pflanzen immer mehr vermindert, werden dann die Flächen besonders von Cladonia rangiferina und rangiformis eingenommen. Stellenweise tritt auch Pogonatum aloides, nanum, Pteris aquilina und Calamagrostis epigeios auf. Im Verein mit den Haiden unterliegen die Reste dieser Pflanzen vielfach einer Zersetzung und bilden ein filzig erdiges Gemenge, welches fast wie Sägemehl aussieht und eine weissgraue bis gelbbraune Farbe besitzt. Unter dem Einfluss der Luft zersetzt sich dasselbe vollständig zu einer pulverigen, braunschwarzen, viel Wachsharz enthaltenden Humuserde, welche die Bezeichnung „Bunk-, Bunker- oder Schollerde" erhalten hat. Auf dieser gewöhnlich 15—45 cm mächtigen Schicht stellen sich zuerst genügsame Gräser ein (Phleum pratense, Anthoxanthum odoratum, Holcus lanatus), später, wenn durch diese der junge Boden verbessert worden ist, auch anspruchsvollere Pflanzen (Gräser und Kleearten).

Während das Gedeihen der moorbildenden Pflanzen in den Grünlandsmooren an die Gegenwart von nährstoffreichem, namentlich kalkhaltigem Wasser geknüpft ist, erfordert jenes der Hochmoorpflanzen das Vorhandensein eines an Nährstoffen, besonders an Kalk armen Wassers. Die ersteren erheischen, mit anderen Worten, tellurisches, die letzteren atmosphärisches Wasser, welches von Regen, Schnee oder Nebeln herrührt. Diese Unterschiede in der Beschaffenheit des Wassers bedingen jene in dem Auftreten der für beide Hauptmoorgruppen charakteristischen Pflanzen. Der Ansicht *Sendtner*'s, dass die mineralische Unterlage der Moore maassgebend für deren Bildung sei und dass die Hochmoore nur auf Thon entstehen könnten, steht schon zu der Thatsache in Widerspruch, dass viele Hochmoore auch eine kalkige oder sandige Unterlage besitzen. Dazu kommt der Umstand, dass nach den übereinstimmenden Untersuchungen von *Pokorny*, *Früh*, *Lorenz*, *Sitensky* und *Ramann* die überwiegende Mehrzahl der Hochmoore sich auf Wiesenmooren oder auf humosen Ablagerungen, namentlich der Wälder gebildet hat. Dass Hochmoore direkt auf Thon, also auf anorganischer Unterlage entstehen können, ist öfter beobachtet worden, aber dann ist es nur das auf den undurchlässigen Thonschichten stauende Regenwasser gewesen, in welchem sich die ersten Torfbildner, Sphagna, angesiedelt und die Hochmoorbildung eingeleitet haben, wie man sich in alten mit Regenwasser angefüllten Thongruben überzeugen kann. Meist besteht aber die Unterlage aus einer entweder durch die Flora eines Grünlandmoores oder von Waldbäumen erzeugten Humusschicht, welche sowohl auf Thon als auch auf verschiedenen anderen mineralischen Böden (Lehm, Mergel, Sand) auflagert.

Die Bildung der Hochmoore auf Grünlandsmooren kann gegeben sein, wenn die Beschaffenheit des die Fläche versumpfenden Wassers eine Aenderung erfährt, das Wachsthum des Grünlandsmoores beendet ist, entweder weil es unter den gegebenen Verhältnissen die erreichbare Mächtigkeit erlangt hat oder weil der Zufluss tellurischen Wassers aus irgend einer Veranlassung vermindert ist oder durch mehr oder weniger vollständige Inanspruchnahme der Nährstoffe, besonders des Kalkes im Wasser seitens der Pflanzen des Wiesenmoores. Findet unter derartigen Umständen in muldenförmigen Lagen Ansammlung von atmosphärischem Wasser statt, so sind auf der humosen, stark wasserhaltigen Unterlage die Bedingungen zu dem Auftreten

solcher Pflanzen gegeben, welche die Entstehung eines Hochmoores veranlassen, z. B. Sphagnum rigidum, verum, compactum, acutifolium u. s. w., sowie verschiedene andere Moose.

Die Bildung der Hochmoore aus Wäldern kann in verschiedener Weise vor sich gegangen sein, entweder direct oder nach vorausgegangenem Auftreten von Wiesenmoorpflanzen. Im ersteren Fall wird die Moorbildung vielfach durch Auftreten einer Ortsteinschicht im Untergrunde des Bodens und zwar in folgender Weise veranlasst[1]). Der unter dem Einfluss von Rohhumus in den Wäldern entstandene Ortstein (siehe unten) verursacht wegen seiner Undurchlässigkeit die Ansammlung grösserer Wassermengen während der feuchten Jahreszeit, wodurch die Widerstandsfähigkeit der Holzpflanzen verringert wird und diese allmählich zum Absterben gebracht werden. In Folge des stärkeren Lichteinflusses und der höheren Erwärmung des Bodens wird die Zersetzung eines Theiles der angesammelten Humusmassen beschleunigt und dem Wachsthum der Haide Vorschub geleistet, welche die vorhandenen Moosarten verdrängt. Die Schichten des abgelagerten Haidehumus nehmen an Mächtigkeit stetig zu und geben, da sie wegen hoher Wassercapacität der Masse grössere Mengen von Feuchtigkeit einschliessen, Veranlassung zu dem Auftreten solcher Gewächse, welche wie die Sumpfhaide (Erica Tetralix), Wollgras (Eriophorum vaginatum) und Sumpfbinse (Scirpus caespitosus) höhere Ansprüche an den Wasservorrath des Bodens stellen. Diese Pflanzen drängen die Haide an die weniger nassen Ränder des Moores zurück und bilden nun selbst Torfschichten. „Aber auch diese

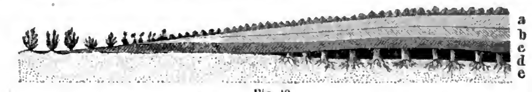


Fig. 49.
Hochmoor mit Waldkern. (Nach *E. Ramann.*) a. Sphagnumtorf. b. Wollgrastorf. c. Haidetorf. d. Baumreste und unbestimmte organische Stoffe. e. Mineralboden.

Pflanzen bleiben nicht lange im unbestrittenen Besitz des Gebietes. Erst an einzelnen Stellen, dann immer verbreiteter treten Sphagneen auf, und wie ursprünglich der Wald durch die Haide, die Haide später durch das Wollgras verdrängt worden ist, wird dieses durch die Sumpfmoose immer mehr nach dem Rande zurückgedrängt.“ In allen Mooren dieses Typus findet man daher vom Rande nach der Mitte fortschreitend alle Pflanzen vor, welche an der Torfbildung theilgenommen haben und zwar in der Reihenfolge ihrer ehemaligen Verbreitung (Haide, Sumpfhaide, Wollgras, Sphagnum). Das Profil eines solchen Moores zeigt beistehende Figur (49).

In dem Maasse, als mit dem Anschwellen der Moorschicht die Fähigkeit der Pflanzen abnimmt, sich die nothwendigen Wassermengen anzueignen, tritt wieder die Haide auf und kommt die Hochmoorbildung zu einem gewissen Abschluss. In dieser Weise vollzieht sich die Hochmoorbildung in den Tiefländern fast allgemein, wie auch die Untersuchungen von *P. E. Müller*[2]), *D. Emeis*[3]) und *A. Borgmann*[4])

[1]) *E. Ramann.* Forstliche Bodenkunde. Berlin. 1893. S. 248.

[2]) Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin. 1887.

[3]) Allgemeines über Wald, Moor und Haide in Schleswig-Holstein. Berlin. 1873.

[4]) *De Hoogvenen van Nederland.* Inaug.-Dissertationen. Groningen 1890. Referat in: Forschungen u. s. w. Bd. XIV. 1891. S. 274.

dargethan haben. Hochmoore, in welchen die Baumreste fehlen, besitzen ein Callunetum oder, wo ein solches nicht vorhanden ist, ein Eriophoretum zur Unterlage.

In Gebirgsländern ist die Entstehung von Hochmooren auf Waldböden insofern durch die Oertlichkeit begünstigt, als auf den Plateau's und Senkungen sich sehr leicht mächtige Schichten von Rohhumus ansammeln, auf welchen sich Torfmoose ansiedeln (zuerst namentlich Sphagnum acutifolium), die unter Verdrängung des Waldes allmählich zur Bildung eines Hochmoores Veranlassung geben.

Die oben an zweiter Stelle angeführten Hochmoorbildungen in Wäldern, nämlich jene, welche ein Wiesenmoor zur Unterlage haben, sind ungleich seltener als die eben beschriebenen. Dieselben werden z. B. an Stellen beobachtet, welche mit Erlen und Weiden bewachsen sind und eine genügende Feuchtigkeit besitzen. Hier können sich verschiedene Hypnumarten, Cyperaceen und Equisetaceen ansiedeln, die bei massenhaftem Auftreten die Feuchtigkeit dieser Orte erhöhen und ein Entwurzeln der Bäume durch den Wind erleichtern. „Oder es hat sich auch aus wasserreichen meist mit Equisetum limosum, Juncus communis, Sphagnum u. a. Pflanzen verwachsenen Mulden, Gruben und Gräben die Torfbildung in ihre Nachbarschaft auf dem feuchten Humus in die Wälder verbreitet und hier das weitere Gedeihen der Bäume unmöglich gemacht. Im Laufe der Zeit gingen die Stämme der entwurzelten und dann gefallenen Bäume zum Theil oder ganz in Humus über, durch welchen die Moorschichte bereichert, für das Wachsthum der Torfmoose besonders geeignet gemacht wurde.“ (*Sitensky.*)

Die Mächtigkeit der Torfschicht in den Hochmooren ist eine ziemlich beträchtliche. So zeigt in den Emsgegenden das Papenburger Moor eine Tiefe von 7,5—9,4 m, das Auricher Moor eine solche von 8—11,5 m. In Südbayern haben nach *Sendtner* einige Moore eine Tiefe von 8 m und mehr. In Lithauen kommen nach *Eiselen* Moore vor, welche eine 10—11,3 m starke Torflage zeigen, während die norddeutschen Moore nach demselben Gewährsmann durchschnittlich 4—8 m mächtige Torflagen besitzen. Nach *Lesquereux* sollen im Jura Moore mit 9,5—13 m tiefen Torfschichten vorkommen[1]).

Aus diesen Daten, im Vergleich mit den oben bezüglich der Grünlandsmoore angegebenen, erhellt, dass die Torflagen in den Hochmooren im Durchschnitt stärker sind als in den Grünlandsmooren. Ueberdies weist auch der Torf in beiden Moorarten sowohl im Ganzen wie in den einzelnen Schichten grosse Unterschiede auf. Während derselbe in den zuletzt genannten Mooren stets von oben nach unten rein schwarz und pulverig-humusartig ist, erscheint er in den ersteren unmittelbar unter der Pflanzendecke als eine aus deutlichen Pflanzenresten bestehende gelbliche Masse, bis mit 1,2—1,6 m Tiefe eine gelb- bis rothbraune, etwas dichtere Torfmasse beginnt, welche 3—4,4 m mächtig ist, allmählich nach der Tiefe zu sich immer mehr und mehr verdichtet und dunkler bräunt und endlich bei 6 m Tiefe eine vollständig amorphe erdige Structur und schwarzbraune Farbe annimmt.

c) Gemischte Moorbildungen.

Dieselben können verschiedener Art sein, indem entweder die beschriebenen Moorbildungen nebeneinander in einem und demselben Moore auftreten oder die Moormasse einen unbestimmten Charakter besitzt. „Mischmoore“ werden jene

[1]) *F. Senft.* Die Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildungen. Leipzig. 1862. S. 104.

Bildungen genannt, in welchen mehr oder minder grosse Strecken oder Inseln eine andere Flora zeigen als die Hauptmasse dieser Moore. So kommen nach *Sendtner* in Südbayern Hochmoore vor, welche Grünlandsmoorinseln umschliessen, oder Grünlandsmoore vor, aus denen Hochmoorinseln hervorragen (Dachau-Schleissheimer und Erdinger Moor). Diese Eigenthümlichkeiten mögen durch Verschiedenheiten in der Zusammensetzung des Wassers, welches zur Moorbildung Veranlassung gab, hervorgerufen sein.

Was die an zweiter Stelle angeführte Kategorie anlangt, so unterscheidet *Sitensky* zwei Arten von Torfgebilden gemischten Charakters. Die eine Art fand er dort vor, wo ein Grünlands- und ein Hochmoor aneinander grenzten, mitunter auch am Rande eines Grünlandsmoores. Genannter Forscher sieht sie als Uebergangsgebilde an, wie solche ein Grünlandsmoor zeigt, wenn Verhältnisse eintreten, die ein Ansiedeln der Hochmoorflora auf letzterem ermöglichen und begünstigen. Derartige Umwandlungen lassen sich in einem und demselben Moor verfolgen, welches an einer Stelle Grünlandstorf mit beginnender Hochmoorbildung, an einer anderen ausgesprochenen Grünlandsmoortypus zeigen kann.

Die zweite Art der scheinbar unbestimmten Torfgebilde sind die „Erlbrüche“, welche sich an Stellen mit stagnirendem Wasser in geringer Tiefe oder anstehend, in der Nähe von Teichen oder fliessenden Gewässern auf Sand, Lehm, Mergel oder Torf in der Nachbarschaft von Grünlands- und Hochmooren vorfinden. Durch ihren Pflanzenwuchs sind sie den Grünlands- wie auch den Hochmooren gleich ähnlich, oder zeigen den einen oder anderen Charakter mehr ausgeprägt. Je nach der Beschaffenheit der Unterlage, auf welcher sich die Moorschichten gebildet haben, unterscheidet man Moor-, Sandmoor-, Lehmmoor- und Mergelmoorbruch. In Folge des höheren Sauerstoffgehaltes des Wassers findet an solchen Oertlichkeiten die Bildung von Humussäuren gewöhnlich nur in einem beschränkten Grade statt. Dies hat Veranlassung gegeben, dass man früher diese Brüche als süsse Moore im Gegensatz zu den saueren bezeichnet hat (*E. Ramann*).

d) *Schlammtorf.*

Der Schlammtorf ist eine aus Pflanzen- und Thierresten, sowie Thierexcrementen am Grunde stehender oder langsam fliessender sauerstoff- und an gelösten Mineralbestandtheilen armer Gewässer. Häufig ist der Schlamm durch zugeführte Schlämmstoffe des Wassers geschichtet; man kann dann nach der Natur dieser Bestandtheile Sandschlamm, Thonschlamm u. s. w. unterscheiden oder der Schlamm geht allmählich in Moorboden über. Die organischen Substanzen, welche in der Regel keine Structur aufweisen, besitzen eine rothbraune oder braunschwarze Farbe.

III. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Humusstoffe.

A. Die chemischen Eigenschaften der Humusstoffe.

Der Humus enthält dieselben Bestandtheile wie die Pflanzen- und Thierreste, aus welchen er entstanden ist, aber in einem zum Theil anderen Mengeverhältniss, je nach dem Grade und den äusseren Factoren der Zersetzung. Indem er fortwährend Umwandlungen unterliegt, bildet er eine Substanz, welche keine constante Zusammensetzung besitzt und auch kein Gemisch von bestimmten chemischen Ver-

bindungen darstellt, sondern welche aus einem Complex veränderlicher und noch unzulänglich definirter Zersetzungsproducte besteht. Alle Bemühungen, welche darauf gerichtet waren, aus dem Humus Verbindungen von constanter Zusammensetzung zu isoliren, müssen als mehr oder weniger verfehlt bezeichnet werden. Dies gilt auch besonders von den diesbezüglichen Arbeiten *G. J. Mulder*'s[1]), welcher sich in eingehendster Weise mit der Erforschung der Humuskörper befasst hat. Nur in Bezug auf ihre physikalischen Eigenschaften und einige chemische Eigenthümlichkeiten besitzen dieselben, unabhängig von den Bedingungen ihrer Entstehung, gemeinsame charakteristische Merkmale.

a) Die organischen Bestandtheile des Humus

bestehen nach *Mulder* aus: Ulmin und Ulminsäure, welche die charakteristischen Bestandtheile des braungefärbten Humus bilden und die bei Beginn der Zersetzung sowie unter Luftabschluss aus den organischen Substanzen entstehen, Humin und Huminsäure, die Hauptbestandtheile des schwarzen Humus, welche den Höhepunkt der Humification bezeichnen und sich besonders unter dem Zutritt der Luft aus der organischen Materie bilden, ferner die farblose Quellsäure (Krensäure) und die gelbe bis braune Quellsatzsäure (Apokrensäure), welche aus dem Humin und der Huminsäure durch weitere Oxydation derselben hervorgehen und sich direct in anorganische Verbindungen aufzulösen vermögen. Die elementare Zusammensetzung wird von *Mulder* und *W. Detmer*[2]) wie folgt angegeben:

Prozente der aschenfreien und trockenen Substanz.

	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.	Stickstoff.
Ulmin aus braunem Torf *(Detmer)*	52,14	7,03	40,19	0,64
Ulmin und Ulminsäure, aus Zucker künstlich dargestellt *(Stein)* . .	63,1	4,7	33,2	0
Ulminsäure, aus Zucker dargestellt *(Mulder)*	67,1	4,2	28,7	0
Ulminsäure aus alter Chinarinde *(Hesse)*	59,4	6,1	31,0	3,5
Humin und Huminsäure, aus Zucker dargestellt *(Mulder)*	63,4–64,4	4,3	31,3—32,3	0
Humin aus schwarzem Torf *(Detmer)*	55,23	6,31	37,45	1,01
Huminsäure aus schwarzem Torf und Ackererden im Mittel *(Detmer)*	59,74	4,48	35,78	0
Huminsäure aus verschiedenen Acker- und Gartenerden *(Detmer)* . . .	56,3—57,9	4,4–5,1	32,4–36,0	3,3—3,6
Quellsäure aus Ackererde *(Mulder)*	44,0–44,7	5,4–5,5	46,6—48,0	1,9–3,9
Quellsatzsaures Ammoniak aus Ackererde *(Mulder)*	47,2—50,9	3,8—4,2	41,9—47,5	1,5–4,1

Bei Durchsicht dieser Zahlen ergiebt sich zur Genüge, dass es bisher noch nicht gelungen ist, die einzelnen Bestandtheile des Humus chemisch rein darzustellen, so dass es vor der Hand unstatthaft erscheinen muss, die Humusstoffe nach ihrer Zusammensetzung zu charakterisiren. Nur so viel lässt sich aus den vorliegenden Analysen erkennen, dass die Humusstoffe reicher an Kohlenstoff sind als die Kohlehydrate und dass sie den Wasserstoff nahezu in demselben Verhältniss wie im Wasser enthalten. Demgemäss können sie als stark entwässerte Kohlehydrate angesehen

[1]) Die Chemie der Ackerkrume. Deutsch von *J. Müller*. Berlin. 1861. I. S. 308–364.
[2]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XIV. 1871.

werden, eine Anschauung, die durch die Thatsache eine Stütze findet, dass es möglich ist, aus Kohlehydraten mit Hilfe von stark wasserentziehenden Säuren künstlich Substanzen herzustellen, welche den Humuskörpern sehr ähnlich sind.

Die Zunahme des Kohlenstoffs und die Abnahme des Wasserstoffs und Sauerstoffs bei der Humusbildung lässt sich bei Gegenüberstellung der procentischen Zusammensetzung eines Kohlehydrates, z. B. der Cellulose oder eines cellulosereichen Materials und der Humusstoffe resp. der bei der Zersetzung sich bildenden Producte leicht ersehen, wie z. B. folgende Zahlen (nach *Detmer*) darthun:

	Cellulose.	Humin und Huminsäure.
Kohlenstoff	44,444 %	59,74
Wasserstoff	6,173 „	4,48
Sauerstoff	49,383 „	35,78.

Einen anderen Beweis liefern folgende von *Will* und *Meyer*[1]) ermittelte Daten:

	Eichenholz.	Vermodert hellbraun	Vermodert dunkelbraun.
Kohlenstoff	50,6 %	53,6	56,2
Wasserstoff	6,0 „	5,2	4,9
Sauerstoff u. Stickstoff	43,4 „	41,2	38,9.

Die Analysen zeigen also, dass bei der Humificirung der Kohlenstoff zunimmt, während Wasserstoff und Sauerstoff eine Abnahme erfahren.

Bemerkenswerth ist ferner die aus obiger Zusammenstellung hervorgehende Thatsache, dass die natürlichen Humuskörper stickstoffhaltig sind. Ob dieser Stickstoff zur Constitution der Humuskörper gehört, lässt sich zur Zeit nicht entscheiden, dagegen ist bekannt, dass ein Theil desselben von Ammoniak herrührt, welches mit den Humussäuren verbunden ist, ein grösserer Theil aber der Gegenwart von unbekannten stickstoffhaltigen Stoffen (Amidoverbindungen?[2])) zuzuschreiben ist, die sich aus den stickstoffhaltigen Bestandtheilen der pflanzlichen und thierischen Abfälle bilden. Dieser an die Humusstoffe gebundene Stickstoff ist in einer für die Pflanzen schwer zugänglichen Form vorhanden, welche nach *A. Mayer* derjenigen des Stickstoffs der Braunkohlen und Steinkohlen vermuthlich ähnlich ist. Eine andere Meinung ist auch die, dass manche Eiweisskörper der Pflanzen an Unzersetzbarkeit dem thierischen Hornstoffe gleichzusetzen seien und dass dieselben noch durch die Beimengung von den Humussäuren, die ja mit den Gerbstoffen viel Aehnlichkeit haben, conservirt würden. Von einigen Forschern (*H. v. Post*[3]) und *P. E. Müller*[4])) wird die Schwerzersetzbarkeit wenigstens eines Theils der stickstoffhaltigen Bestandtheile der Humuskörper darauf zurückgeführt, dass zahlreiche Insecten, welche von den Abfallstoffen ihr Leben fristen, nach ihrem Tode ihre chitinhaltigen, bekanntlich schwer zersetzbaren Körpertheile in dem Humus zurücklassen. Diese An-

[1]) Archiv der Pharmacie. II. Reihe. Bd. LXX. S. 273. — Pharm. Centralblatt. 1852. S. 522.

[2]) *A. Baumann* (Ueber die Bestimmung des im Boden enthaltenen Ammoniakstickstoffs und über die Menge des assimilirbaren Stickstoffs im unbearbeiteten Boden. Habilitationsschrift. 1886) fand z. B., dass die durch Behandlung des Bodens mit Natronlauge in der Kälte oder mit verdünnter Salzsäure in der Wärme erhaltene Ammoniakmenge um ein Vielfaches den wirklichen Ammoniakgehalt des Bodens übertrifft.

[3]) Landw. Jahrbücher. 1888. S. 405.

[4]) Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin. 1887. S. 173.

schauung hat Vieles für sich, insofern der Gehalt an Chitin in manchen Humusablagerungen (Wald-Rohhumus, Torf) ein ziemlich beträchtlicher sein kann[1]). In neuester Zeit wird von *P. Kostytscheff*[2]) darauf hingewiesen, dass durch das massenhafte Auftreten von niederen Organismen (Bacterien, Pilze) in den der Zersetzung unterliegenden organischen Stoffen viele stickstoffhaltige Bestandtheile verbraucht werden, indem diese Organismen sich von albuminoiden Stoffen und Ammoniak ernähren und diese in ihren Zellen in Plasmastoffe verwandeln. Inwieweit diese verschiedenen Anschauungen den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen, lässt sich zur Zeit nicht mit Sicherheit ermessen. Für vorliegende Verhältnisse genügt es zunächst vollständig, den Nachweis geliefert zu haben, dass die stickstoffhaltigen Bestandtheile des Humus zum grossen Theil sich in einer schwer löslichen Form befinden.

Zur Unterscheidung der organischen Bestandtheile des Humus ist man in neuerer Zeit, namentlich nachdem durch *W. Detmer* festgestellt wurde, dass Ulmin und Humin und die entsprechenden Säuren in ihrer Zusammensetzung und in ihren Eigenschaften grosse Uebereinstimmung aufweisen, dazu gelangt, die Humusstoffe lediglich nach ihrem Verhalten gegen Alkalien in zwei Gruppen einzutheilen, nämlich in:

1. solche, welche in alkalischen Flüssigkeiten unlöslich sind und allmählich in Humussäuren übergehen: Humusstoffe;
2. solche, welche sich in Alkalien leicht auflösen und aus diesen Lösungen durch stärkere Mineralsäuren ausgefällt werden: Humussäuren.

Die Humusstoffe oder der indifferente Humus (Humin und Ulmin) sind braun bis schwarz gefärbte Verbindungen, welche in den verschiedensten Lösungsmitteln unlöslich sind, in alkalischen Flüssigkeiten aufquellen und keine hervortretenden chemischen Eigenschaften besitzen.

Die Humussäuren[3]) sind in reinem Wasser und schwachen Säuren (Phosphorsäure, Borsäure) mehr oder weniger löslich, in salzhaltigem, sowie in salzsäure- und schwefelsäurehaltigem Wasser sind sie dagegen unlöslich. Sie bilden mit den alkalischen Erden (Kalk, Magnesia), mit Eisen- und Manganoxyd, den betreffenden Oxydulen, sowie mit Thonerde Verbindungen[4]), Humate genannt, welche sowohl in Wasser wie in mässig concentrirten Alkalilösungen unlöslich sind, bei Gegenwart überschüssiger Säuren und kohlensaurer Alkalien aber wieder in Lösung übergeführt werden können. Humussaurer Kalk unterliegt in feuchtem Zustande schneller der Verwesung als die reine Humussäure (S. 133), indem er hierbei in kohlensauren Kalk übergeführt wird. Dieser ist dann im Stande, neue Mengen von Humussäuren zu binden. Hierauf beruht vornehmlich die intensive Zersetzbarkeit der Humusstoffe in Böden, welche reich an alkalischen Erden sind. Die Unlöslichkeit des humussauren Kalkes ist

---

[1]) Derartige Humusbildungen bezeichnet *v. Post* im Gegensatz zu dem gewöhnlichen vegetabilischen Humus als koprogenen Humus.

[2]) Annales agronomiques. T. XVII. 1891. p. 17—38.

[3]) *C. G. Eggertz*. Studien und Untersuchungen über die Humuskörper der Acker- und Moorerde. Meddelanden från konigl. Landbruks-Akademiens-Experimentalfält. Nr. 3. Stockholm. 1888. p. 1—66. — *Biedermann*'s Centralblatt für Agrikulturchemie. 1889. S. 75.

[4]) Nach *Mulder* bilden sich hierbei Doppelhumate von Alkalien mit Kalk, Magnesia, Eisenoxyd, Eisen- und Manganoxydul, sowie mit Thonerde (Chemie der Ackerkrume. I. S. 333).

ferner die Ursache der Erscheinung, dass kalkreiche Gewässer, welche mit humosen Bodenarten in Berührung kommen, klar sind.

Mit Alkalien (Ammoniak, Kali, Natron) bilden die Humussäuren in Wasser lösliche Verbindungen. Dies documentirt sich bei Gewässern, welche Moore oder andere an organischen Substanzen reiche Bodenarten durchfliessen, durch die braune Färbung derselben[1]). In diesen alkalischen Lösungen bringen starke Mineralsäuren einen voluminösen Niederschlag hervor, der beim Trocknen bedeutend an Volumen verliert und braungefärbte amorphe, in Wasser schwer lösliche Stücke bildet. Schwache Säuren, wie z. B. Kohlensäure und Borsäure, verursachen keine Fällung.

Das geschilderte Verhalten der Humussäuren zu Alkalien und der humussauren Alkalisalze zu Mineralsäuren ermöglicht dieselben aus jedem Boden oder humushaltigem Material zu extrahiren. Die von *L. Grandeau*[2]) angewendete Methode, mittelst welcher er aus der Ackererde eine „matière noire“ genannte, für die Fruchtbarkeit der Böden in mehrfacher Beziehung wichtige Substanz darstellte, besteht darin, dass die humose Masse mit verdünnter Salzsäure behandelt wird, um derselben den Kalk zu entziehen, mit welchem die Humussäuren meistentheils verbunden sind und die Probe sodann, nach dem Auswaschen der Säure mit destillirtem Wasser, mit verdünntem Ammoniak extrahirt wird. Die Lösung zur Trockne eingedampft, liefert die matière noire und mit einer Mineralsäure versetzt die Humussäure. Dieser Niederschlag löst sich nach den Untersuchungen von *C. G. Eggertz* fast vollständig in kohlensaurem, oxalsaurem und phosphorsaurem Ammoniak, auch in kohlensaurem Kali und Natron, dagegen nicht in Chlorammonium, salpetersaurem und schwefelsaurem Ammoniak, auch nicht in schwefelsaurem und phosphorsaurem Kali. Mit ammoniakalischer Chlorcalciumlösung bilden die Lösungen der Humussäure Niederschläge, welche ganz unlöslich in Wasser und kaustischen Alkalien sind, sich dagegen in Chlorammonium etwas, besser in salpetersaurem und noch besser in schwefelsaurem Ammoniak lösen. Die Kalkniederschläge werden von oxalsaurem und kohlensaurem Ammoniak, sowie von kohlensaurem Natron und von schwefelsaurem Kali zersetzt unter Bildung einer löslichen Verbindung der Humussubstanz mit dem Alkali; der Kalkhumus wird von phosphorsaurem Ammoniak zu einer braunen Flüssigkeit aufgelöst, ohne dass jedoch eine Fällung von Kalkphosphat auftritt.

Die durch Fällen mit Mineralsäuren erhaltene Humussäure ist stets stickstoffhaltig, auch in dem Fall, wo dieselbe wiederholt in Alkali aufgelöst und mit Säuren niedergeschlagen wird. Die Humussäure erleidet zwar hierbei eine partielle Zersetzung, aber der Stickstoff wird hierbei nicht abgespalten, denn die neuen Fällungen werden stets stickstoffreicher als die Substanzen, woraus sie dargestellt sind. Selbst durch $4^1/_2$stündiges Destilliren mit Natronlauge liess sich in den Versuchen von *Eggertz* nicht aller Stickstoff entfernen. Von 8 verschiedenen Proben, welche einen Gehalt von 5,80—10,70% Stickstoff enthielten, zeigten sich 2,12—5,30% durch den genannten Process nicht austreibbar.

---

[1]) Dies ist, wie zur Vermeidung von Irrthümern hervorgehoben sein mag, nicht immer der Fall, weil die braune Farbe solcher Gewässer auch von einer Auflösung reiner Humussäure in denselben herrühren kann.

[2]) Recherches sur le rôle des matières organiques du sol dans les phénomènes de la nutrition des plantes. — Annales de la station agronomique de l'Est. 1872.

Die betreffenden Niederschläge enthalten ferner stets feuerfeste Bestandtheile, welche nicht nur als unorganische Beimengungen betrachtet werden können, sondern als intime Bestandtheile des organischen Atomcomplexes aufzufassen sind. Dies gilt sowohl von dem Schwefel, Phosphor und Eisen wie von der Thonerde und der Kieselsäure, wie *Eggertz* eingehend nachgewiesen hat.

Die Zusammensetzung der 13 von genanntem Forscher analysirten Niederschläge variirte wie folgt:

Kohlenstoff	40,86—56,18%
Wasserstoff	4,33— 6,63 „
Sauerstoff	25,09—37,98 „
Stickstoff	2,59— 6,43 „
Kieselsäure	0,37—10,47 „
Phosphor	0,15— 7,58 „
Schwefel	0,55— 2,09 „
Thonerde und Eisenoxyd .	0,38— 3,90 „ .

In Bezug auf die Form, in welcher die Humussäure aufzutreten pflegt, ist der Umstand in mehrfacher Beziehung von Wichtigkeit, dass dieselbe den quellbaren Körpern oder Colloïdsubstanzen zuzuzählen ist. Dies ergiebt sich nicht allein aus ihrem Verhalten Nährstofflösungen gegenüber (siehe S. 234), sondern auch aus den Veränderungen, welche ihre Lösungen beim Gefrieren erleiden. In letzterem Fall wird nämlich die Humussäure aus ihren Lösungen als dunkel gefärbtes Pulver ausgeschieden, welches nur sehr schwer wieder in Lösung übergeführt werden kann[1]). Hierdurch wird es in hohem Grade wahrscheinlich, dass die Humussäuren im Wasser ähnlich vertheilt sind wie Stärkekleister, colloïdale Kieselsäure u. s. w., was nicht ausschliesst, dass die Humussäure, wie andere im freien Zustande gallertartig aufquellbare Säuren (Kieselsäure, Zinnsäure), Salze zu bilden vermag.

Unter den organischen Bestandtheilen der Humusstoffe sind schliesslich noch jene anzuführen, welche von wachs- und harzartiger Beschaffenheit sind. Dieselben treten in allen Humusablagerungen auf, allerdings in sehr verschiedener Menge. Am wenigsten enthält der Mullhumus, mehr der Rohhumus, während die Torfsorten den grössten Reichthum bis zu 20% solcher Substanzen besitzen. In dem Torf des Dachau-Schleissheimer Moores bei München fand Verfasser 5% durch Alkohol und Aether ausziehbare Bestandtheile. In anderweitigen Untersuchungen[2]) wurden folgende Mengen bestimmt:

	Wachsartige Bestandtheile.	Harzartige Bestandtheile.	Harz.
Schwarzer amorpher Torf (Bergsma)	1,80%	3,96%	—
Stechtorf von Hagenbruch (*Wiegmann*)	6,20 „	4,80 „	9,00%
Baggertorf „ „ „	0,25 „	0,43 „	2,25 „ .

G. J. Mulder[3]) stellte die Harze aus friesländischem Torf, nachdem derselbe durch Wasser erschöpft worden war, durch Behandlung mit kochendem Alkohol dar. Ein bräunlich weisses Pulver schied sich bei dem Erkalten des Weingeistes aus;

[1]) Ob dieser Vorgang bei der Moorbildung eine wichtige Rolle spielt, wie vielfach behauptet worden ist, lässt sich schwer ermessen.

[2]) *F. Senft.* Die Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildungen. Leipzig. 1862. S. 135.

[3]) *Erdmann*'s Journ. f. praktische Chemie. Bd. XVI. 1839. S. 495. — Bd. XVII. S. 444.

von den beiden im Alkohol gelöst bleibenden verband sich eines mit Bleioxyd, das andere nicht. Ersteres war von schwarzer, letzteres von gallengrüner Farbe. Endlich wurde noch ein viertes tiefbraunes Harz aus dem schon durch Alkohol ausgezogenen Torfe durch Behandlung mit Steinöl erhalten. Wie *Grebe* nachgewiesen hat, treten auch in Sandböden oft erhebliche Mengen solcher Stoffe auf.

Ueber die Bildung der wachs- und harzartigen Bestandtheile ist nichts bekannt. Wahrscheinlich stammt ein mehr oder weniger grosser Theil derselben aus den Pflanzen, aus welchen der Humus entstand. Für die Veränderungen, welchen die humosen Stoffe unterliegen, haben diese Bestandtheile eine grosse Bedeutung, insofern sie, wie oben (S. 110) gezeigt, die Zersetzung bedeutend herabdrücken.

b) Die mineralischen Bestandtheile des Humus.

Neben den organischen oder verbrennlichen Stoffen enthält jeder natürliche Humus noch eine gewisse Menge unverbrennlicher oder ***mineralischer Stoffe,*** die von den Pflanzen herrühren, welche die Humusbildung veranlassten. In dem Maasse, als die Substanz sich verflüchtigt, muss dieselbe natürlich relativ reicher an Mineralbestandtheilen werden, vorausgesetzt, dass die atmosphärischen Niederschläge nicht einen Theil derselben auswaschen. Inwieweit dieses stattfindet, lassen die vorliegenden Versuche nicht recht erkennen, weil durch Feststellung der procentischen Zusammensetzung der Materialien im frischen und zersetzten Zustande nicht die Grösse des absoluten Verlustes, welcher in vorwürfiger Frage allein ausschlaggebend ist, ermessen werden kann. Nur so viel lassen die Ergebnisse derartiger Versuche erkennen, dass von den verschiedenen Aschenbestandtheilen das Kali, die Magnesia und die Schwefelsäure in grösster Menge ausgelaugt werden, ungleich weniger der Kalk, die Phosphorsäure, während Eisen und Kieselsäure am meisten der Auswaschung widerstehen[1]).

Für die Grösse des Verlustes unter den in Rede stehenden Verhältnissen sind zweifelsohne verschiedene äussere Umstände, besonders der Verlauf des Zersetzungsprocesses, die Bodenbeschaffenheit, die Oertlichkeit, das Klima von Wichtigkeit. Ueberall, wo die organischen Stoffe leicht einer kräftigen Verwesung unterliegen, muss nothwendigerweise die Einbusse an Mineralstoffen sehr bedeutend sein, weil in demselben Maasse, als sich die organische Substanz verflüchtigt, die in derselben enthaltenen Aschenbestandtheile in den löslichen Zustand übergehen. Je ungünstiger die Bedingungen der Zersetzung werden, um so geringer wird der Entgang an mineralischen Stoffen sein, da in dem gleichen Grade der Uebergang derselben in den löslichen Zustand erschwert ist, und sicherlich werden fragliche Bestandtheile in grösster Menge sich dort ansammeln, wo Fäulniss herrscht und die organische Masse nur äusserst langsam dem Zerfall unterliegt. Selbstredend werden ausserdem die Durchlässigkeit des Bodens, die Abflussverhältnisse, die Grösse und Vertheilung der atmosphärischen Niederschläge auf die Vorgänge bei der Auslaugung der anorganischen Bestandtheile des Humus einen grossen, nach den örtlichen Verhältnissen zu ermessenden Einfluss ausüben.

---

[1]) *J. Schröder.* Forstchemische und pflanzenphysiologische Untersuchungen. Dresden. 1878. — *E. Ebermayer.* Die gesammte Lehre der Waldstreu. Berlin. 1876. S. 277. — *E. Ramann.* Forstliche Bodenkunde. Berlin. 1893. S. 276.

c) Die Zusammensetzung der natürlichen Humusablagerungen ist, wie nicht anders erwartet werden kann, je nach dem Material, aus welchem sie gebildet werden, und den äusseren Factoren der Zersetzung eine überaus wechselvolle. Bei dem ausserordentlichen Mangel an Analysen lassen sich in dieser Richtung nur einige allgemeine Gesichtspunkte aufstellen, die etwa, wie folgt, sich zusammenfassen lassen.

Unter sonst gleichen Umständen ist das Verhältniss der in Alkalien löslichen Verbindungen zu dem sogen. indifferenten Humus von den äusseren Bedingungen der Zersetzung abhängig. Im Allgemeinen wird angenommen werden dürfen, dass der Mull die geringste, der Rohhumus schon eine höhere und der Torf die grösste Menge von Humussäuren in sich einschliesst. Je günstiger die äusseren Factoren (Luft, Feuchtigkeit, Wärme, chemische Agentien) bei dem Zerfall der organischen Stoffe einzuwirken vermögen, um so unbeständiger sind die Producte, um so leichter gehen die Bestandtheile der betreffenden Materialien in einfache chemische Verbindungen und assimilirbare Pflanzennahrung über und umgekehrt. Daher verschwindet der Mull allmählich mehr oder weniger vollständig, indem die organische Substanz sich verflüchtigt, Kohlensäure, Wasser, Ammoniak resp. Salpetersäure bildet unter Zurücklassung der mineralischen Bestandtheile in einem leicht aufnehmbaren Zustande. Eine nennenswerthe Anhäufung von Humusstoffen unter günstigen Zersetzungsbedingungen tritt bei dieser Humusart in Folge dessen nicht ein. Schwieriger gehen die im Rohhumus enthaltenen Stoffe in flüchtige und lösliche Verbindungen über, weshalb es bei dieser Humusart bereits zu erheblichen und beständigeren Ablagerungen kommt. Am geringsten ist die Verflüchtigung der organischen Substanz und der Uebergang der mineralischen Bestandtheile in die lösliche Form bei dem Torf, welcher als die beständigste Humusart zu betrachten ist. Die in demselben enthaltenen Mengen von Stickstoff und Mineralstoffen sind äusserst schwer zugänglich, selbst in dem Falle, wo derselbe den günstigsten Verwesungsbedingungen ausgesetzt wird.

Besonders charakteristisch und in mehr als einer Beziehung von Wichtigkeit ist das Verhalten des Stickstoffs in den verschiedenen Humusablagerungen, soweit deren Beschaffenheit von äusseren Einwirkungen beherrscht wird. Während unter dem Einfluss von ausreichenden Luftmengen, genügendem Wasservorrath und einer angemessenen Temperatur der Stickstoff der sich zersetzenden Pflanzen- und Thierreste fast vollständig sich in Ammoniak und Salpetersäure verwandelt, wird derselbe, sobald einer der Verwesungsfactoren ins Minimum geräth, zum Theil in Form von schwer zugänglichen, zum grossen Theil noch unbekannten resistenten Verbindungen angehäuft. Dies gilt für alle Verhältnisse, wo irgend einer der für die vollständige Zersetzung nothwendigen Factoren in unzulänglicher Intensität zur Wirkung gelangt. Ein eclatantes Beispiel dieser Art liefern die Untersuchungen von *E. W. Hilgard*[1]), aus welchen hervorgeht, dass die Humussubstanz (matière noire) in den Böden der ariden Region ungleich reicher an Stickstoff ist als in jenen der humiden, wie folgende Zahlen darthun:

---

[1]) Forschungen u. s. w. Bd. XVII. S. 478.

Californische Böden.	Stickstoffprocent im Humus.
Humide Region	5,24
Aride Region, Tiefland	10,03
" " Hügelland	15,87.

Schon ein flüchtiger Blick auf diese Zahlen zeigt die ausserordentlich grossen Unterschiede in dem Stickstoffgehalt der Humussubstanz bei verschiedener Feuchtigkeit des Bodens. Während der Stickstoffgehalt in typischen humiden Böden von unter 3 bis etwas über 6% wechselt und im Mittel auf etwa 5% zu veranschlagen ist, steigt der Gehalt im ariden Bodenhumus von 12,5 bis auf nahezu 19% und im Mittel der Bestimmungen auf nahezu 16%. Es ergiebt sich also hieraus für den mittleren Stickstoffgehalt des Bodenhumus der beiden Regionen das Verhältniss wie ungefähr 1 : 3. In extremen Fällen steigt dies sogar bis auf 1 : 6 und die höheren Zahlen für den ariden Humus übersteigen sogar die Stickstoffprocente in der Proteïngruppe.

Aehnlich wie der Mangel an Wasser wird sich jener an Wärme in Bezug auf den Stickstoffgehalt des Humus geltend machen. Am durchgreifendsten scheint aber der Mangel an Luft auf die Stickstoffanreicherung der Zersetzungsproducte einzuwirken, denn unter allen Humusablagerungen besitzen die unter Luftabschluss (Fäulniss) gebildeten Humusstoffe caeteris paribus den höchsten Stickstoffgehalt. Bei Verallgemeinerung dieser Thatsachen gelangt man mithin zu der Schlussfolgerung, *dass der Stickstoffgehalt der Humusstoffe um so grösser ist, je ungünstiger die Zersetzungsbedingungen sind und umgekehrt.*

In der Regel wird auch die Menge der in den Humusarten enthaltenen Mineralstoffe gleichen Schritt mit der Zersetzung derselben halten, indem diese, gewissermaassen von der organischen Substanz eingeschlossen, nur in dem Grade löslich und ausgewaschen werden können, als die letztere dem Zerfall unterliegt. Ziffermässige Belege lassen sich zur Zeit allerdings hierfür, wenigstens für die Mehrzahl der Humusablagerungen nicht erbringen. Dies gilt auch grösstentheils von dem Einfluss, den die chemische und physikalische Beschaffenheit der sich zersetzenden Abfallstoffe auf die chemische Beschaffenheit der Humusarten ausübt. In dieser Richtung sind nur einige wenige Details bekannt geworden. So weiss man z. B., dass die Abfälle der Buche leichter freie Humussäuren zu bilden vermögen als jene der Eiche und Fichte, während diese Eigenschaft bei der Kiefer von allen Waldbäumen in geringstem Grade vorhanden ist. Reichliche Mengen von Humussäure liefern dagegen die Abfälle der Haide und Beersträucher.

Schliesslich ist die Dauer der Zersetzung, d. i. das Alter der Masse für die chemische Zusammensetzung der Humusablagerungen maassgebend. Besonders tritt dies bei jenen hervor, welche sich unter ungünstigen Zersetzungsbedingungen gebildet haben. So ergiebt sich aus verschiedenen Beobachtungen in den Torflagern eine Anreicherung der Masse an Kohlenstoff mit zunehmender Tieflage. Einige Beispiele mögen dies erläutern: In den Untersuchungen des Verfassers[1]) betrug der Kohlenstoffgehalt des lufttrockenen Torfes aus dem

	In einer Tiefe von		
	10,5—36,8 cm.	42,1—73,6 cm.	78,9—115,7 cm.
Cunrauer Moor	**40,03%**	**43,09%**	**43,25%**

[1]) Journ. für Landwirthschaft. XXXIV. Jahrg. 1886. S. 176.

	In einer Tiefe von				
	0,0—0,2 m.	0,2—0,5 m.	0,5—0,8 m.	0,8—1,1 m.	1,1—1,4 m.
Donau-Moor	**40,12%**	**42,64%**	**42,80%**	**44,05%**	**45,24%.**

Die eingehenderen Untersuchungen von *W. Detmer*[1]) lassen auch das Verhalten der übrigen Elementarbestandtheile und der Mineralstoffe bei fortschreitender Zersetzung erkennen. Es enthielten drei Torfproben, aschenfrei und bei 120° getrocknet, von Jessbeck (Schleswig-Holstein):

	Obere Schicht.	Aus 7 Fuss Tiefe.	Aus 14 Fuss Tiefe.
Kohlenstoff	57,75%	62,02%	64,07%
Wasserstoff	5,43 „	5,21 „	5,01 „
Sauerstoff	36,02 „	30,67 „	26,87 „
Stickstoff	0,80 „	2,10 „	4,05 „
(Asche)	(2,72 „)	(7,42 „)	(9,16 „).

Die Producte werden hiernach bei fortschreitender Zersetzung immer reicher an Kohlenstoff und Stickstoff, dagegen ärmer an Wasserstoff und Sauerstoff; ausserdem nimmt der Gehalt an Mineralstoffen stetig zu in dem Maasse, als sich die organische Substanz verflüchtigt.

Mit Ausnahme des Torfes liegen über die Zusammensetzung der natürlichen Humusablagerungen nur wenig brauchbare Resultate vor. Gewöhnlich ist der Humus wie bei den Mull- und Rohhumusarten mit einer grösseren Menge erdiger Bestandtheile gemengt, von welchen er sich nicht trennen lässt, weshalb die Analysen sich nicht auf den Humus selbst, sondern auf das Gemisch desselben mit Mineralbestandtheilen beziehen.

Der Mull nach der Classification des Verfassers ist noch nicht näher untersucht worden. Für lufttrockenen Buchenmull giebt *C. F. A. Tuxen* einen Humusgehalt von 5,10—8,33%; in einer Probe von *Store Hareskov* fand er 0,268% Stickstoff und 1,494% in Salzsäure lösliche Mineralstoffe.

Von dem Wald-Rohhumus liegen einige Analysen von *A. Emmerling* und *G. Loges*[2]) vor. Buchenhumus enthielt im lufttrockenen Zustande in Proc.:

	Humus.	Stickstoff.	Kali.	Kalk.	Magnesia.	Phosphorsäure.
	29,17	0,387	0,032	0,089	0,030	0,045
Davon löslich in Wasser	0,019	0,0019	0,001	0,0015	—	0,00053.

In anderweitigen Versuchen genannter Forscher wurden folgende Daten ermittelt:

[1]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XIV. 1871.

[2]) Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins f. Schleswig-Holstein. XI. Jahrg. 1883. S. 107. — XV. Jahrg. 1886. S. 65.

In 100 Theilen Trockensubstanz:

Bestandtheile.	Buchen-Rohhumus auf Lehm.		Saurer Buchen-Rohhumus.		Haide-Rohhumus auf Sand.		Rohhumus unter gemischten Laubhölzern auf Sand.	
	Im Ganzen.	In Wasser löslich.	Im Ganzen.	In Wasser löslich.	Im Ganzen.	In Wasser löslich.	Im Ganzen.	In Wasser löslich.
Gebundenes Wasser	3,05	—	2,93	—	2,10	—	3,87	—
Humus	7,44	0,368	63,16	0,107	6,30	0,833	14,70	0,845
Stickstoff	0,37	0,0075	1,47	0,0372	0,145	0,0070	0,591	0,022
Mineralstoffe	89,14	0,325	32,44	0,741	91,46	0,076	80,84	0,265
	100,00	—	100,00	—	100,00	—	100,00	—
In den Mineralstoffen:								
Kali	1,426	0,0086	0,399	0,0081	0,594	0,0010	0,711	0,0019
Natron	0,668	0,0033	0,347	0,0103	0,649	0,0015	0,517	0,0023
Kalk	1,247	0,0079	0,194	0,0007	0,466	0,0014	0,526	0,0023
Magnesia	0,357	0,0007	0,149	0,0007	0,310	0,0007	0,355	0,0012
Eisenoxyd	2,346	0,0023	0,292	0,0088	0,200	0,0003	1,285	0,0025
Thonerde	11,037	—	2,879	—	3,374	—	7,854	—
Phosphorsäure	0,143	0,0003	0,091	0.0169	0,026	0,0007	0,073	0,0013
Schwefelsäure	0,570	0,0098	0,087	0.0052	0,073	0,0017	0,308	0,0042
Kieselsäure	71,064	0,0043	28,058	0,0060	86,521	0,0005	68,683	0,0063
100 Theile Humussubstanz enthalten Stickstoff:								
	4,969		2,321		2,301		4,025	
Von 100 Theilen reiner Humussubstanz lösen sich in Wasser:								
	0,495		0,169		1,323		0,575	
Von 100 Theilen Gesammtstickstoff lösen sich in Wasser:								
In Form von Ammoniak	0,0692		0,0661		0,1807		0,0819	
In organischer Form	0,1337		0,1878		0,2993		0,2898	
	0,2029		0,2539		0,4800		0,3717	

In den von *E. Ramann*[1]) angestellten Untersuchungen wurde vornehmlich nur auf die Mineralstoffe Rücksicht genommen. Der Vollständigkeit wegen seien indessen die betreffenden Daten hier angeführt:

[1]) Die Waldstreu. Berlin. 1890. S. 29. — Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 1883. Heft 11 und 12.

In 1000 Theilen Trockensubstanz sind enthalten:

Bestandtheile.	Kiefern-Rohhumus Biesenthal.			Kiefern-Rohhumus Lauenbrück (Hannover).	Buchen-Rohhumus Glashütte.	Gemischter Rohhumus Hohenbrück.	Haide-Rohhumus Apenrade.
Kali	0,655	0,242	0,514	0,283	0,404	0,921	0,781
Natron	0,042	0,242	0,119	0,325	0,160	0,059	0,890
Kalk	2,623	1,450	1,785	2,130	1,306	3,090	2,393
Magnesia	0,116	0,524	0,606	1,280	2,600	1,302	0,984
Thonerde	6,105	3,507	4,869	10,700	7,410	6,402	10,094
Eisenoxyd	3,227	1,731	1,300	3,280	1,150	3,565	4,879
Manganoxydul	0,104	0,443	0,210	0,203	0,213	0,360	0,036
Phosphorsäure	1,109	1,450	1,475	2,140	2,280	2,558	1,696
Schwefelsäure	2,060	1,864	1,350				
Chlor	0,440	1,331	1,110				
Kieselsäure	26,421	14,111	10,850	?	?	?	?
Stickstoff	21,80	20,89	17,50				

Allgemeine Schlussfolgerungen dürften sich wohl aus diesen Zahlen schwerlich ableiten lassen, da einerseits die Zusammensetzung der Materialien eine äusserst wechselnde und die Zahl der Analysen noch eine unzulängliche ist.

Genauere Untersuchungen als über die bisher in Betracht gezogenen Humusablagerungen liegen, Dank der umfassenden Thätigkeit der Moor-Versuchsstation in Bremen, über den Torf in den Hoch- und Grünlandsmooren bezüglich derjenigen Stoffe vor, welche bei der Cultivirung solcher Ländereien zu berücksichtigen sind. Aus den diesbezüglichen Mittheilungen von *M. Fleischer*[1]) mögen folgende Zahlen hier eine Stelle finden:

Zusammensetzung der Moorböden.[2])

Hochmoore.

Ort.	Procente der Trockensubstanz.						
	Verbrennliche Stoffe.	Mineralstoffe.	Sand, Kieselsäure, Thon.	Stickstoff.	Kali.	Kalk.	Phosphorsäure.
a. Obere Schicht. (Haidehumus).							
Lilienthaler Moor	96,32	3,68	2,43	1,08	0,03	0,20	0,06
Hellweger "	83,30	16,70	14,73	1,19	0,06	0,37	0,12
Bourtanger "	83,30	16,70	14,25	1,45	0,07	0,35	0,14
Papenburger "	83,98	16,02	13,01	1,55	0,08	0,37	0,10
b. Tiefere Schicht. (Moostorf.)							
Lilienthaler Moor	98,74	1,26	0,59	0,56	0,01	0,10	0,02
Hellweger "	98,74	1,26	0,33	0,75	0,04	0,14	0,03
Bourtanger "	97,86	2,14	0,63	1,03	?	0,21	0,05
Papenburger "	97,56	2,44	0,63	0,93	?	0,27	0,04

[1]) Landwirthschaftliche Jahrbücher. Bd. XX. 1891. S. 378. — *Mentzel* und *Lengerke*'scher landw. Kalender. 1888. S. 48. — Vergl. ferner: *F. Senft.* Die Torf-, Humus-, Marsch- und Limonitbildungen. Leipzig. 1862. S. 135 u. 136. — *F. Sitensky.* Ueber die Torfmoore Böhmens. Prag. 1891. S. 207—215.

[2]) Aus Norddeutschland.

Grünlandsmoore.

Ort.	Procente der Trockensubstanz.						
	Verbrennliche Stoffe.	Mineralstoffe.	Sand, Kieselsäure, Thon.	Stickstoff.	Kali.	Kalk.	Phosphorsäure.
Nickwarzbruch (Tuchler Haide, Westpreussen)	70,17	29,83	18,11	2,97	0,09	4,25	0,59
Iserauer Wiese (Tuchler Haide, Westpreussen)	81,51	18,49	7,15	3,33	0,07	4,51	0,30
Landsdorf bei Triebsees (Pommern)	80,26	19,74	5,70	3,55	0,05	4,84	0,98
Cunrau (Sachsen)	82,56	17,44	6,78	3,23	0,05	5,96	0,25
Fienerbruch (Sachsen)	76,19	23,81	10,34	2,40	0,10	6,71	0,15
Dresow bei Gr. Justin (Pommern)	81,70	18,30	3,21	2,85	0,09	7,25	0,14
Zalesie bei Nakel (Posen)	45,72	54 28	13,20	2,10	0,08	9,23	1,01
Sammenthin b. Arnswalde (Brandenburg)	44,06	55,94	?	?	?	18,00	12,89
Paetzig b. Schoenfliess (Brandenburg)	42,16	57,81	4,60	1,78	0,07	26,62	0,41

Diese Zusammenstellung weist, wenn zunächst von Details abgesehen wird, beträchtliche Unterschiede in den einzelnen Bestandtheilen auf, die bei Berücksichtigung sämmtlicher vorliegender Analysen noch grösser ausfallen. Die Differenzen in der Zusammensetzung zwischen den beiden Hauptmoorgruppen gewinnen noch an Bedeutung durch die Thatsache, dass die an Stickstoff, Kalk und Phosphorsäure procentisch reicheren Moore in den allermeisten Fällen ein höheres Volumgewicht besitzen, so dass bei jenen für eine bestimmte Fläche und Tiefe weit mehr feste Stoffe entfallen als bei den ärmeren Mooren. Einen besseren Einblick gewähren die aus einer grösseren Zahl von Analysen von *M. Fleischer*[1]) berechneten Durchschnittswerthe, welche folgende Verhältnisse aufweisen:

Hochmoor.	In 100 Theilen Trockensubstanz sind enthalten:				
	Stickstoff.	Mineralstoffe.	Kali.	Kalk.	Phosphorsäure.
Haidehumus (obere Schicht)	**1,2**	**3,0**	**0,05**	**0,35**	**0,10**
Moostorf	**0,8**	**2,0**	**0,03**	**0,25**	**0,05**
Grünlandsmoore.					
Niederungsmoore	**2,5**	**10,0**	**0,10**	**4,0**	**0,25**
Gebirgsmoore	**2,0**	**5,0**	**0,10**	**1,0**	**0,20.**

Die Unterschiede in der stofflichen Zusammensetzung zwischen den Grünlandsmooren und Hochmooren, wie solche sich schon genügend aus diesen Zahlen ergeben, treten noch drastischer hervor, wenn man unter Berücksichtigung des Volumgewichts die einzelnen Bestandtheile für eine bestimmte Fläche und Tiefe berechnet.

[1]) *Mentzel* und *Lengerke*'scher Landw. Kalender. 1892. S. 14.

	Auf 1 ha Fläche bis zu 20 cm Tiefe sind enthalten kg:					1 cbm frischer Boden enthält
Hochmoor.	Feste Stoffe.	Stickstoff.	Kali.	Kalk.	Phosphorsäure.	Trockensubstanz.
Haidehumus (obere Schicht)	240000	2880	100	**840**	240	120 kg
Moostorf	180000	1450	54	**450**	72	90 „
Grünlandsmoore.						
Niederungsmoor	500000	12500	500	**20000**	1250	250 „
Gebirgsmoor	360000	7200	72	**3600**	720	180 „ .

Bei Durchsicht der mitgetheilten Zahlen ergiebt sich zunächst in augenfälliger Weise,

1. dass der Kalkgehalt vor Allem das charakteristische Unterscheidungsmerkmal zwischen den Grünlands- und Hochmooren bietet, in specie, dass erstere bedentend reicher an Kalk sind als letztere. Demgemäss ist man berechtigt, jene als kalkreiche, diese als kalkarme Moore zu bezeichnen. Die Ursachen dieser Verschiedenheiten sind bereits oben (S. 107 u. 211) ausführlich dargelegt worden und können daher an dieser Stelle ausser Betracht bleiben.

Weiters führen die angeführten Daten zu dem Schluss,

2. dass die Grünlandsmoore ausser mit Kalk auch mit Mineralstoffen überhaupt und besonders mit Phosphorsäure reichlicher dotirt sind.

Hinsichtlich der übrigen in Betracht kommenden Mineralstoffe zeigen die Zusammenstellungen,

3. dass Armuth an Kali ein gemeinsames Merkmal beider Hauptmoorgattungen bildet. Die Grünlandsmoore enthalten zwar in der Regel eine etwas grössere Menge dieses Pflanzennährstoffs, doch ist das Plus zu gering, um zur Unterscheidung dienen zu können und die Bezeichnung des Grünlandsmoorbodens als eines kalireicheren gerechtfertigt erscheinen zu lassen. Dieser Mangel an Kali ist wahrscheinlich dadurch bedingt, dass dieses mit den Humussäuren leicht lösliche Salze bildet, die leicht ausgewaschen werden.

Von den sonstigen Mineralstoffen ist auf Grund der vorliegenden Analysen von *Torfaschen* anzuführen, dass der Natrongehalt in der Regel niedriger, zuweilen aber auch höher ist als der Kaligehalt. Die Magnesia zeigt gegenüber dem Kalk ein gleiches Verhalten. Eisenoxyd, Thonerde, Schwefelsäure und Kieselsäure fehlen niemals im Torf, treten jedoch in sehr verschiedenen Mengen in demselben auf. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass Thonerde und Kieselsäure im Vergleich zum Eisenoxyd resp. zur Schwefelsäure zurücktreten. Unter diesen zuletzt angeführten mineralischen Bestandtheilen überwiegt gewöhnlich das Eisenoxyd, welches bis zu 70% und darüber in der Asche enthalten sein kann. Auch ergiebt sich nach Maassgabe der Torfaschen-Analysen zwischen den beiden Hauptmoorgattungen der Unterschied,

4. dass die Grünlandsmoore im Durchschnitt bedeutend reicher an Eisenverbindungen sind als die Hochmoore.

Zu den organischen Stoffen übergehend, lässt sich aus den oben mitgetheilten Daten auf das deutlichste erkennen,

5. dass die verbrennliche organische Substanz in den Hochmooren in ungleich grösseren Mengen auftritt als in den Grünlandsmooren, während sich die unverbrennlichen mineralischen Bestandtheile umgekehrt verhalten. Hierin wird eine Erklärung für die Thatsache gefunden werden dürfen, dass der Torf aus Hochmooren eine wesentlich höhere Brennbarkeit besitzt als jener aus Grünlandsmooren.

In Bezug auf die einzelnen Elementarbestandtheile lassen die einschlägigen Untersuchungen (von *Fleischer* und *Sitensky*) nur bei dem Stickstoff zwischen beiden Hauptmoorgattungen prägnante Unterschiede erkennen, welche sich dahin präcisiren lassen,

6. dass die Grünlandsmoore gegenüber den Hochmooren durch einen bedeutend höheren Stickstoffgehalt ausgezeichnet sind.

Die Zersetzbarkeit des Torfhumus, welche, wie früher (S. 115 u. 204) mehrfach hervorgehoben wurde, an sich eine sehr geringe ist, weist bei den beiden Hauptgattungen von Mooren nicht unwesentliche Unterschiede auf, die sich darin zu erkennen geben,

7. dass die Zersetzung der Humussubstanz unter günstigen Bedingungen in den Grünlandsmooren in stärkerem Grade sich vollzieht als in den Hochmooren. Es wird dies geschlossen werden dürfen aus der zuerst von *M. Fleischer*[1]) festgestellten Thatsache, dass unter sonst gleichen Verhältnissen die Bodenluft in dem Grünlandsmoor reicher an Kohlensäure, dem Endproduct des Zerfalls, ist als jene in dem Hochmoore, wie folgende Durchschnittszahlen nachweisen:

Bodenart.	1000 Liter Bodenluft aus 30 cm Tiefe enthielten: Kohlensäure.	
	Boden mit Sanddecke.	Boden mit Sand oberflächlich gemischt.
Hochmoor	9,333 gr	8,876 gr
Grünlandsmoor	35,260 „	23,379 „.

Hiernach enthielt die Bodenluft im kalkreichen Niederungsmoor (Cunrau) 3 bis 4 mal so viel Kohlensäure als jene im kalkarmen Hochmoor. In den Versuchen des Referenten waren diese Unterschiede zwar geringer, jedoch machten sich dieselben im Uebrigen in derselben Richtung geltend.

	1000 Vol. Bodenluft aus 30 cm Tiefe enthielten Vol. Kohlensäure.[2])		
	1892.	1893.	1894.
Hochmoor (Haspelmoor)	4,471	3,420	3,547
Grünlandsmoor (Schleissheim)	6,743	6,074	6,278.

M. Fleischer[3]) stellte ausserdem fest, dass das aus dem Torf austretende Wasser beim kalkreichen Moor 70mal reicher an Salpetersäure war als beim kalkarmen. Die Ursache der geschilderten Differenzen ist ohne Zweifel in dem verschiedenen Kalkgehalt der beiden Moorgattungen zu suchen (siehe S. 131 u. 134).

Zur Vermeidung von Irrthümern wird es angezeigt sein, an dieser Stelle hervorzuheben, dass der Stickstoff in den Mooren im natürlichen Zustande fast ausschliesslich in organischer Form auftritt und dass derselbe, wenn durch Entwässerung

[1]) Landw. Jahrbücher. Bd. XX. 1891. S. 884.

[2]) Mittel aus je 26 Einzelbestimmungen.

[3]) *Mentzel* und *Lengerke*'scher landw. Kalender. 1888. S. 50.

dem Boden Luft zugeführt wird, in einer gewissen, verhältnissmässig geringen Menge in Ammoniak übergeht, welches sich nur unter bestimmten, noch späterhin anzuführenden Bedingungen in Salpetersäure umwandelt.

Im Anschluss an die vorstehenden Darlegungen dürfte es zweckmässig sein, einige Bemerkungen über

die in den Mooren auftretenden Mineralien

anzuknüpfen, zumal einige derselben bei der Urbarmachung dieser Böden, welche im III. Abschnitt behandelt werden soll, mit berücksichtigt werden müssen.

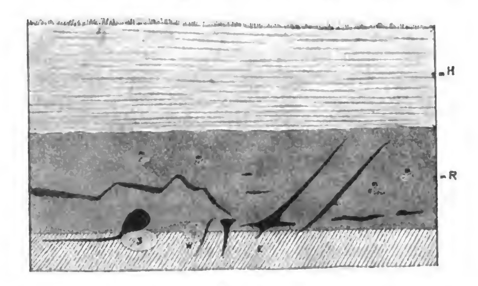


Fig. 50.
Idealprofil durch ein präalpines Hochmoor. (Nach *Früh.*) E. Erraticum; R. Rasenmoor; H. Hochmoor; m. junge Doppleritnester im „Marmortorf"; S. Sandstein; W. Wurzel oder Stamm von Pinus Abies; die schwarzen Figuren zeigen das mannigfaltige Vorkommen von Dopplerit.

Unter den Mineralien organischen Ursprungs wäre zunächst der Dopplerit[1]) *(Haidinger)* oder Torfpechkohle *(Gümbel)* zu nennen, ein sehr langsam und homogen gebildetes Product der Vertorfung, welches bis jetzt in einigen Mooren der Schweiz, Krains, Böhmens und Ostfrieslands gefunden wurde. Der reife Dopplerit erscheint gleichmässig schwarz, ausserordentlich fein elastisch, gelée- bis gallertartig, von gelbbrauner Farbe, durchscheinend wie dünne aufgeweichte Guttaperchahaut. Der unreife Dopplerit ist körnig, daher in seinem gesammten optischen Verhalten von dem vorigen verschieden, nämlich mehr oder weniger leberbraun bis rostgelb und bei starkem Wassergehalt gallertartig. Dieses Mineral stellt keine einfache Verbindung dar, sondern besteht wie der Torf aus einem wechselnden Gemenge von organischen und mineralischen Verbindungen und ist wie der Torf fast ausnahmslos stickstoffhaltig. Die mineralischen Bestandtheile variiren qualitativ und quantitativ je nach dem Charakter des Moores, in welchem sich der Dopplerit gebildet hat. Die basischen Stoffe sind zum kleinen Theil an die gleichzeitig vorkommenden Mineralsäuren, zum grössten Theil an die organische Substanz gebunden. Im Wesentlichen besteht also der Dopplerit aus Humaten mit etwas anorganischen Salzen, die hauptsächlich der Schwefel-, Phosphor- und Kieselsäure angehören. Die Zusammensetzung desselben schwankt in Folge seiner Entstehungsweise innerhalb gewisser Grenzen, wie aus folgenden Zahlen ersichtlich ist.

---

[1]) *J. J. Früh.* Ueber Torf und Dopplerit. Zürich. 1883. S. 64—84.

Zusammensetzung des bei 110° getrockneten Dopplerits,
aschenfrei berechnet.

	Asche.	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.	Stickstoff.
Procent:	2,23—14,3	51,11—58,25	5,14—6,29	34,16—42,49	0,0—2,27.

Der Dopplerit findet sich stets im Grünlandsmoor, das sich aus schwer zersetzten Hypneen, Carices und Phragmites zusammensetzt (Fig. 50). Hieraus erklärt sich der dominirende Kalkgehalt der Asche.

Aus dem Harze der vertorften Kiefern- und Fichtenstämme hat sich der Fichtelit (*Bromeis*) gebildet[1]), der nach *Fickenscher* in dem trockenen Torfmoore von Redwitz in Bayern und nach *Göppert* in den Torfmooren bei Eger (Scheererit) vorkommt. Man findet ihn an Klüften der Rinde wie auch zwischen den Jahresringen als krystallinische Lamellen oder dünne Krusten, seltener als Nadeln. Er ist perlmutterglänzend, geruch- und geschmacklos, schwimmt auf Wasser, sinkt in Alkohol unter und ist in Aether sehr leicht löslich. Nach seiner Elementarzusammensetzung kommt ihm die Formel $C_4 H_8$ (*Bromeis*) zu.

Unter den anorganischen Bildungen in den Torfmooren sei hier vorerst der Diatomeenerde (Kieselguhr) Erwähnung geschehen, welche allerdings mehr als Fossilie denn als Mineral zu betrachten ist. Nach *Sitensky* sind die Diatomaceen in den meisten böhmischen Torfen, die in und an Teichen und Tümpeln mit reiner Thonunterlage entstanden sind, reichlich enthalten. Solche Torfe pflegen eine mehr oder weniger graue Farbe zu besitzen, trocknen bald aus und sind zerreiblich. An manchen Stellen ist die Diatomeenerde nicht mit dem Torf vermischt, sondern kommt bald auf grösseren bald auf kleineren Flächen in einer bis 50 cm tiefen Schichte oder nur in nesterartigen, kopfgrossen oder auch kleineren Anhäufungen vor, und zwar entweder auf der thonigen Unterlage am Rande des Moores oder in dünnen oder dickeren Adern in der Torfmasse selbst, zuweilen auch in Häufchen an der Oberfläche des Moores.

Wichtiger ist der Moorkalk (Wiesenkalk, Wiesen- oder Moormergel), welcher entweder zwischen der Moorsubstanz nesterweise oder in einer zusammenhängenden mehr oder weniger mächtigen Schicht, am Grunde des Moores, an der Grenze der mineralischen Unterlage vorkommt. In Südbayern bildet der Wiesenkalk, der dort „Alm“ genannt wird, in vielen Grünlandsmooren (Erdinger, Dachau-Schleissheimer Moor) eine grösstentheils zusammenhängende Schicht, die auf dem für Wasser vollständig durchlässigen Glacialschotter aufruht, während die Torfmasse auf derselben lagert. Der Alm ist von weisser Farbe, ausserordentlich feinkörnig und besitzt in Folge dessen eine grosse Wassercapacität und eine äusserst geringe Durchlässigkeit für Wasser. Mit letzterem bildet er eine scheinbar schleimige Masse. Im ausgetrockneten Zustande ist er zerreiblich und zerfällt an der Luft zu einer pulverigen, äusserst beweglichen Masse. Seiner Zusammensetzung nach besteht er grösstentheils aus amorphem Kalkcarbonat, wie aus folgender von *H. Vogel*[2]) ausgeführten Analyse des Alms von Memmingen im lufttrockenen Zustande ersichtlich ist:

---

[1]) Jahrbuch der Mineralogie. 1841. S. 848.

[2]) Berichte des Augsburger naturhistorischen Vereins. 1885. S. 166.

Kohlensäure	41,060%
Kalk	50,307 „
Magnesia	0,098 „
Thonerde u. Eisenoxyd .	0,864 „
Kieselsäure	0,250 „
Schwefelsäure	0,463 „
Salze der Alkalien . . .	0,513 „
Wasser	0,366 „
Organische Substanz . .	5,000 „
	98,921%

Phosphorsäure war nicht einmal in Spuren vorhanden, Chlor, Salpetersäure und Ammoniak in minimalen Mengen.

Die Entstehung des Moorkalkes ist noch nicht genügend festgestellt. Jedenfalls befand er sich vor seiner Bildung im Wasser gelöst; wenigstens deutet die Form, in der er auftritt, darauf hin, dass er als ein Niederschlag zu betrachten ist. *E. Ramann*[1]) glaubt nach seinen Beobachtungen annehmen zu sollen, dass der Moorkalk aus der Auflösung von Conchylienschalen hervorgeht, die durch Humussäuren aufgelöst werden und deren Kalk an den Stellen wieder zum Vorschein kommt, wo äussere Einwirkungen, sei es atmosphärische Luft oder salzhaltiges Wasser des Untergrundes, stattfinden, und durch Oxydation eine Zersetzung des humussauren Kalkes und Rückbildung von kohlensaurem Kalk bewirkt werden kann. *O. Sendtner*[2]) ist dagegen der Ansicht, dass die Almbildung der Moorbildung vorangegangen sei, wenigstens sucht er dadurch die Entstehung der südbayerischen Moore auf Geröll zu erklären. Nach ihm soll das mit doppelt kohlensaurem Kalk beladene, über den Geröllboden fortsickernde Wasser auf letzteren eine Schicht einfach kohlensauren Kalkes in Folge des Entweichens eines Theils der Kohlensäure allmählich abgelagert und durch Bildung einer derartigen impermeablen Lage zur Entstehung des Moores Veranlassung gegeben haben. Diese Erklärung hat für die in Rede stehenden Oertlichkeiten Vieles für sich, doch ist damit nicht ausgeschlossen, dass die Moorkalkbildung unter anderen Verhältnissen eine secundäre Erscheinung sein kann, wie auch *Sendtner* selbst zugiebt.

Ein anderes in den Mooren sehr verbreitetes Mineral ist der Schwefelkies (Eisen- oder Wasserkies), der sowohl in Form von Pyrit wie von Markasit vorkommt, und sich in dem Moore unter dem sauerstoffentziehenden Einfluss der faulenden Pflanzenmasse bildet, wenn eisenhaltiges Wasser mit schwefelsaurem Kalk zusammenkam. In diesem Falle entsteht durch Desoxydation Schwefeleisen von der Formel: FeS_2. So unschädlich diese Verbindung für die Pflanzen an sich ist, so verhängnissvoll kann sie werden, wenn sie mit Luft in Berührung tritt, weil sie sich unter solchen Umständen in schwefelsaures Eisenoxydul und Schwefelsäure verwandelt, zwei Stoffe, welche bei der Menge, in der sie bisweilen vorkommen, jede Vegetation vernichten[3]). Dieser Vorgang wird durch folgende chemische Gleichung versinnbildlicht:

[1]) Forstliche Bodenkunde. S. 128.

[2]) Die Vegetationsverhältnisse Südbayerns. 1854. S. 622.

[3]) ***M. Maercker.*** Zeitschrift des landw. Centralvereins der Provinz Sachsen. 1874. Nr. 2 u. 3. S. 70. — ***M. Fleischer.*** Landw. Jahrbücher. Bd. XV. 1886. S. 78 u. Bd. XX. 1891. S. 955. — ***W. Th. Osswald.*** Landw. Jahrbücher. Bd. VI. 1877. S. 391.

$$FeS_2 + O_7 + H_2O = FeSO_4 + SO_4H_2.$$

Schwefel-eisen	Sauer-stoff	Wasser	Schwefels. Eisenoxydul	Schwefel-säure.

Das Eisenoxydulsalz kann vielfach unter dem Zutritt der Luft höher oxydirt und in das entsprechende Eisenoxydsalz umgewandelt werden. In der That ist letzteres in den Mooren vorgefunden worden, wenngleich in der Regel in viel geringeren Mengen als ersteres. Bei diesem Vorgang wird ebenfalls freie Schwefelsäure unter Bildung von fünffach basisch schwefelsaurem Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat abgeschieden [1]).

Das Eisenoxydulsulfat kann unter Umständen in so grossen Mengen in der Moorsubstanz enthalten sein, dass dieses Salz aus dem wässrigen Auszug leicht in Krystallen gewonnen werden kann. Bei Luftabschluss unter Wasser kann der Eisenvitriol durch die humosen Stoffe wieder reducirt und in Schwefeleisen übergeführt werden.

Das Schwefeleisen kommt in den Mooren und in deren Unterlagen fein vertheilt, dem Auge mit erkennbar vor, oder in knolligen Klumpen und starken umfangreichen Platten (Markasit), oder in dünnen glänzenden Blättchen und kleinen Körnern (Pyrit), vielfach als Vererzungsmittel in den Pflanzen und Wurzelresten (*Sitensky*).

Das Eisenoxydulsulfat und die Schwefelsäure, welche bei der Oxydation des Schwefeleisens entstehen, erleiden im Moore mannigfache Veränderungen, welche zur Bildung anderweitiger Verbindungen Veranlassung geben. Hierher gehört zunächst die Bildung von Brauneisenstein, der aus einer Umsetzung von schwefelsaurem Eisenoxydul und kohlensaurem Kalk unter Aufnahme von Wasser und Sauerstoff herstammt. Der betreffende Vorgang wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$2FeSO_4 + 2CaCO_3 + 3H_2O + O = Fe_2O_6H_6 + 2CaSO_4 + 2CO_2.$$

Eisenoxydul-sulfat.	Kalk-carbonat.	Wasser.	Sauer-stoff.	Eisenoxydul-hydrat (Brauneisenstein).	Kalksulfat (Gips).	Kohlen-säure.

Sehr häufig hat der Brauneisenstein in den Moorlagern seine Entstehung der physiologischen Wirkung der hier oft das Quellen- und Grundwasser bewohnenden Crenothrix- und Cladothrix-Colonien zu verdanken. Er kommt meistens mit organischen und auch mineralischen, namentlich Thonbestandtheilen verunreinigt in erdiger, ockeriger Form, hell, dunkelgelb oder rothbraun gefärbt, in Nestern, Adern und in ganzen viele cm bis einige dem mächtigen Schichten vor (*Sitensky*).

In den tiefsten Partien der Moore findet sich sehr häufig der Raseneisenstein (Morasterz, Sumpferz), zum grösseren Theil aus Eisenoxydhydrat bestehend, welches mit Eisenoxydul, Kieselsäure, Thon, Kalk, Magnesia, Humus und phosphorsaurem Eisenoxydul gemengt ist. Der Gehalt an Eisenoxyd schwankt zwischen 23,24—82,38%, derjenige an Kieselsäure zwischen 2,80—12,60, während die Phosphorsäure in Mengen von 0,19—10,99 enthalten ist [2]). Er bildet feste, derbe Massen von brauner bis schwarzbrauner Farbe, die eine kugelige, knollige oder stalaktitische Form besitzen und entweder nesterweise oder in fest zusammenhängenden Erzablagerungen vorkommen. Bisweilen ist der Raseneisenstein von beigemischtem Eisenoxydulphosphat schön blau und grün gefleckt.

[1]) *E. Heiden.* Lehrbuch der Düngerlehre. Stuttgart. 1866. Bd. I. S. 411.

[2]) *F. Senft.* a. a. O. S. 174.

Dieses phosphorsaure Eisenoxydul (Eisenblau), Vivianit genannt, tritt auch für sich in den Torfmooren, in smalte- bis grünlichblauen, erdigen Massen, Knöllchen und Anflügen auf, oder als Vererzungsmittel von Holzstämmen, oder als Ausfüllung von Schneckenschalen. Es kann sich nach *Senft* entweder durch Einwirkung der Phosphorsäure, welche sich durch Oxydation des Phosphors in den Stickstoffsubstanzen der Moorgewächse entwickelt, auf im Moorwasser gelöstes humus- oder kohlensaures Eisenoxydul, oder durch Einwirkung von Eisenoxydulsulfat auf den phosphorsauren Kalk im Holze der Baumstämme und in den Thiersubstanzen erzeugen. In Ostfriesland wird das Eisenoxydulphosphat, welches dort den Namen „Stiffel" führt, als ein Anzeichen von gutem Torf gern gesehen.

Schliesslich sei, der Vollständigkeit wegen, noch des Modereisens Erwähnung geschehen, welches aus humussaurem Eisenoxyd, Wasser, etwas Eisenoxyd und Magnesiumsulfat besteht und eine beim Trocknen erhärtende, schwarze, pechartig glänzende, undurchsichtige Masse bildet, die in den Abzugsgräben entsteht.

Der Anwesenheit von Eisenoxydulsulfat und freier Schwefelsäure im Torfe verdanken ihren Ursprung viele dieselben begleitenden Mineralien, unter welchen zunächst der Gips zu nennen ist, der bei der Bildung des Braueisensteins und bei Einwirkung der Schwefelsäure auf kohlensauren Kalk entsteht. Letzterer Process ist durch folgende Gleichung charakterisirt:

$$SO_4H_2 + CaCO_3 = CaSO_4 + CO_2 + H_2O.$$

Schwefelsäure.	Kohlens. Kalk.	Schwefels. Kalk (Gips).	Kohlensäure.	Wasser.

Der Gips ist in fast allen kalkreichen, Schwefelkies enthaltenden Torflagern als ein von kleinen Krystallen gebildeter Anflug auf austrocknenden Torfstichwänden und Torfziegeln anzutreffen.

Durch Einwirkung von Schwefelsäure auf kieselsaure Magnesia entsteht im Torfe Bittersalz (schwefelsaure Magnesia); durch Wirkung dieser Säure auf eine thonige oder thonschieferige Unterlage bildet sich ferner in den untersten Thonschichten schwefelsaure Thonerde[1]).

Seltener wird Schwefel als ein gelblichweisser Anflug angetroffen. Derselbe kann durch die Thätigkeit von Beggiatoa-Arten abgeschieden werden, oder bei der Zersetzung von Eisensesquisulfuret, FeS_3, welches bei der Einwirkung von Schwefelwasserstoff auf Eisenoxydhydrat sich bildet und in feuchtem Zustande an der Luft sehr schnell in ein Gemenge von Eisenoxyd und Schwefel verwandelt wird[2]).

Am Schluss dieser Betrachtungen über die chemischen Eigenschaften der Humusstoffe wird es zweckmässig sein, dem

Absorptionsvermögen derselben für Pflanzennährstoffe

einige Aufmerksamkeit zuzuwenden. Es ist hierbei vor Allem nicht ausser Acht zu lassen, dass die in Rede stehenden Stoffe, sowohl aus organischen wie anorganischen Substanzen zusammengesetzt und demgemäss die einschlägigen Erscheinungen sehr complicirt sind.

Die organische Substanz der Humusstoffe an sich kann offenbar chemische Wirkungen nur durch die in denselben in wechselnden Mengen enthaltenen Humus-

[1]) *Sitensky.* a. a. O. S. 218.

[2]) *M. Maercker.* Zeitschrift d. landw. Centralvereins der Provinz Sachsen. 1874. Nr. 2 u. 3. S. 69.

säuren ausüben und in dieser Richtung schlechterdings nur auf die Absorption solcher Basen eine kräftige Absorption ausüben, welche, wie die alkalischen Erden (Kalk, Magnesia), Eisenoxyd und Thonerde mit den Humussäuren unlösliche Verbindungen eingehen. Eine Absorption der Alkalien (Kali, Natron, Ammoniak) auf diesem Wege ist ausgeschlossen, weil die betreffenden Humate in Wasser löslich sind. Da aber die Humusstoffe mehr oder minder grosse Mengen von Mineralstoffen erhalten, so findet im Verein mit diesen in der Regel auch eine starke Absorption dieser Basen statt, die vornehmlich darauf zu beruhen scheint, dass sich unter diesen Verhältnissen unlösliche Doppelsalze von humussauren Alkalien mit humussauren alkalischen Erden u. s. w. bilden (S. 217). Daher kommt es, dass unter natürlichen Verhältnissen die Humusstoffe für die Alkalien, alkalischen Erden, Eisenoxyd, Thonerde im Grossen und Ganzen ein kräftiges Absorptionsvermögen besitzen, soweit dasselbe von rein chemischen Vorgängen abhängig ist. Schwefel-, Salz- und Phosphorsäure werden dagegen auf diesem Wege nicht absorbirt.

Den Humusstoffen kommt nun aber auch eine Eigenschaft zu, mittelst welcher sie in gleicher Weise wie die Colloïdsubstanzen auf rein mechanischem Wege eine Absorption von Säuren, Basen und Salzen zu bewirken vermögen. Wie bereits oben (S. 219) angeführt wurde, ist die Lösung der Humussäuren, wie solche durch Lösung der durch Fällen mit einer Säure aus alkalischer Lösung gewonnenen coagulirten Substanz erhalten wird, eine colloïdartige (gallertartige). In diesem Zustande sind diese Stoffe (Gels) im Stande, wie *J. M. van Bemmelen*[1]) in eclatanter Weise dargethan hat, aus der Lösung, aus welcher sie sich abgeschieden haben, gewisse Mengen anderer Stoffe zu binden und ebenso, wenn sie rein abgeschieden sind und nachher mit einer Lösung von anderen Substanzen zusammen kommen, einen Theil davon an sich zu ziehen. Die in dieser Weise festgehaltenen Verbindungen nennt genannter Forscher „Absorptionsverbindungen“.

Die Bindung ist verhältnissmässig schwach, jedoch stark genug, um erst durch oft erneutes Wasser (bei der Dialyse) oder durch langes Ausspülen die gebundenen Substanzen aus dem Gel entfernen zu können. Das Wasser des Gels enthält die gebundenen Substanzen. Beide, Molekeln Wasser und Molekeln Säure u. s. w., werden stärker festgehalten, als die Anziehung der übrigen anwesenden Wassermasse auf dieselbe beträgt.

Die von den Gels aufgenommenen Salze haben das Vermögen, nicht nur in Lösungen anderer Salze Zersetzungen sowie Verbindungen zu bewirken, die sich auch zu normalen chemischen Verbindungen vereinigen können, sondern auch chemische Substitutionen hervorzurufen.

Die colloïdalen Humussubstanzen bilden nun Absorptionsverbindungen mit Säuren und Salzen, am leichtesten jedoch mit Basen. Salze und Säuren werden in kleiner, Basen in grösserer Menge absorbirt. Die Alkalien werden stärker gebunden gehalten als der Kalk, aber die Kalkverbindung ist weniger löslich. Wenn also die Humussubstanz mit einer Lösung von einem Alkalisalz behandelt wird, so wird eine gewisse Menge Alkali gebunden unter Auswechselung mit Kalk und Magnesia. Wird aber die lösliche Verbindung von Humus und einem Alkali mit einer Kalklösung

[1]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XXXV. Heft 2. S. 69—136. — Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas. Leide 1888. T. VII. Nr. 2. p. 37.

behandelt, so wird sich eine gewisse Menge unlöslicher Kalkhumusverbindung bilden. Wird die Humussubstanz mit einer verdünnten Säure ausgezogen und werden dadurch die colloïdalen Verbindungen der Humussubstanz mit mineralischen Basen letzterer beraubt, so sinkt die Grösse der Absorption auf ein Minimum.

Aus diesen kurzen Mittheilungen ergiebt sich also, dass die Humussubstanzen an sich sowohl auf chemischem wie auf mechanischem Wege vornehmlich Basen in grösseren Mengen zu absorbiren vermögen. Sind sie, wie dies in der Regel, wenngleich in mehr oder weniger hohem Grade unter natürlichen Verhältnissen der Fall ist, mit Mineralstoffen versehen, so tritt noch die durch letztere bewirkte Absorption mit hinzu, die im Wesentlichen ein der Absorption durch zeolithartige Verbindungen analoger Vorgang ist. Er erfolgt wie dieser durch Austausch der Basen und wird auch durch dieselben Mittel erniedrigt. Ein Waldhumus, aus hohlen Bäumen eines Buchenwaldes, den *Rautenberg*[1]) mit einer Chlorammoniumlösung zusammenbrachte, welche in 300 ccm 1,605 gr NH_4Cl. enthielt, absorbirte aus derselben 0,0845 gr Ammoniak. Hierbei hatte sich eine dem absorbirten Ammoniak nahezu äquivalente Menge von Kalk, 0,1044 gr, und von Magnesia, 0,0394 gr, gelöst. Die beiden genau äquivalente Menge Ammoniak wäre 0,0968 gr gewesen. Durch Auskochen des Humus mit verdünnter Salzsäure liess sich die Absorptionsfähigkeit desselben auf $^1/_4$ herabdrücken.

Die mit reichlicheren Mengen von Mineralstoffen ausgestatteten Humusstoffe sind natürlich auch befähigt, Säuren zu absorbiren. Die Phosphorsäure wird in dem Maasse absorbirt, als in den Humusstoffen Mineralbestandtheile enthalten sind, welche mit dieser Säure unlösliche Salze bilden[2]). Deshalb werden die mit grösseren Mengen von alkalischen Erden versehenen Grünlandsmoore z. B. ein kräftigeres und ein grösseres Absorptionsvermögen für die Phosphorsäure besitzen als die an Mineralstoffen armen Hochmoore. Die Kieselsäure wird ebenfalls nur bei dem Vorhandensein reichlicher Mengen von Basen, welche mit ihr Verbindungen eingehen, absorbirt. Deshalb bleibt vielfach in humusreichen Böden die Kieselsäure gelöst, während die mit derselben verbunden gewesene Basis (Kali) absorbirt wird. Dieses Verhalten erinnert unwillkürlich an die Wirkung, welche verwesende Pflanzenreste im Boden unter Umständen auf die Entwickelung derjenigen Pflanzen ausüben, welche grosse Mengen von Kieselsäure bedürfen, Schilf, Schachtelhalm, Sauergräser, welche letzteren in saueren Moor- und Wiesengründen vorherrschen. Wird solcher Boden gekalkt, so verschwinden diese Pflanzen, weil nunmehr die Kieselsäure durch den zugeführten Kalk gebunden wird.

B. Die physikalischen Eigenschaften der Humusstoffe.

1. Allgemeine physikalische Eigenschaften.

a) Die Farbe der Humuskörper ist eine sehr verschiedene und abhängig von der Art und dem Grade der Zersetzung, der Beschaffenheit des Materials, aus welchem sie sich gebildet haben, und von dem Feuchtigkeitsgehalt.

Die unter dem Einfluss der Verwesungsfactoren sich bildenden Humusstoffe sind in der Regel dunkelbraun bis schwarz gefärbt, während die Fäulnissproducte eine

[1]) *R. Sachsse*. Lehrbuch der Agrikulturchemie. Leipzig. 1888. S. 176.

[2]) *A. König*. Landw. Jahrbücher. Bd. XI. 1882. S. 1—49.

[3]) *J. v. Liebig*. Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Braunschweig. 1865. Bd. I. S. 134.

mehr rothbraune Farbe besitzen, die bei dem Trocknen in die schwarzbraune und pechschwarze übergeht, besonders bei verschiedenen Torfsorten, welche diese Farbenveränderung bei dem Herausnehmen in Folge von Sauerstoffeinwirkung nach kurzer Frist aufweisen. Je weiter die Zersetzung der organischen Stoffe vorgeschritten, um so dunkler ist die Masse. Im Uebrigen ist die Farbe von dem Bildungsmaterial mitbedingt; so sind die Wiesenmoortorfe stets dunklerer gefärbt als die Hochmoortorfe, welche gelb, rothgelb oder hellbraun erscheinen, je nach dem Grade ihrer Zersetzung. Ausgelaugte, wenig zersetzte Cariceto-Arundineta und Arundineta sehen oft wie gebleicht aus. Der Einfluss des Wassers macht sich bei den Humuskörpern unter sonst gleichen Umständen in der Weise geltend, dass sie im feuchten Zustande eine weit dunklere Farbe aufweisen als im trockenen.

b) Die Structur (oder das Gefüge) angehäufter Humusmassen ist eine überaus wechselnde, je nach der Beschaffenheit der humusbildenden Pflanzen, dem Druck, welchem die Schichten ausgesetzt waren, und dem Grade des Zerfalls.

Der Mull besitzt immer eine lockere Beschaffenheit. Der Rohhumus erscheint bald faserig (Haide, Kiefern, Buche, Heidel- und Preisselbeere), bald erdartig (Steppen, Farnkräuter u. s. w.) und mehr oder weniger dicht. Bei den noch wenig zersetzten Wiesenmoortorfen hat die Humusmasse ein lockeres, verworrenes, filziges Aussehen (Fasertorf), während der Hochmoortorf schwammartig locker, bröckelig oder klumpenartig erscheint. Durch vorgeschrittenere Zersetzung gleichen sich allmählich die Verschiedenheiten der Torfsorten aus; die Ablagerungen werden dichter, compacter und in den ältesten Stadien des Zerfalls erhalten sie ein speckiges und pechartiges Aussehen (Pech- und Specktorf) und bilden eine amorphe, plastische Masse. Die mehr oder weniger dichte Beschaffenheit der Schichten ist, ausser von ihrem Alter, von dem Druck abhängig, unter welchem sie stehen, also von dem der höher gelegenen Partien und der vorhandenen Wassermengen.

Vielfach treten in den Torflagern Schichtungen auf, die nach *P. Sitensky*[1]) sich in Böhmen unter den noch nicht vollständig humificirten Torfsorten am ausgeprägtesten in dem Hypnumtorf zeigen, und zwar in tümpelartigen, wasserreichen Vertiefungen der tiefsten Lager, oft in Tiefen von 5 und über 5 m von fast amorphem, compactem Torf überlagert. Ein derartiger im Ueberfluss an Wasser unter dem Drucke des Hangenden sich bildender Torf hat eine vollkommene Schichtung, so dass sich aus ihm, so lange er nass ist, die ihn bildenden, wie gepressten Pflanzen in sehr dünnen Blättern von einander trennen lassen. Nach demselben Forscher sind die von krautartigen Pflanzen gebildeten Torfsorten immer bedeutend mehr geschichtet als jene, welche von den Vaccineen, Calluna und den verwandten Arten gebildet sind. Die letzteren zerbröckeln getrocknet beim Zerschlagen, wogegen die ersteren ihre schichtenförmige Structur durch die beim Austrocknen entstehenden Spalten kundgeben. Die schichtenförmige Structur des Torfes ist jedoch nur in dem Falle vollkommen ausgeprägt, wo sich derselbe unter dem Drucke anderer Schichten befand. Unter einem geringeren Druck behält der Torf, so lange durch die Zersetzung seine Structur nicht geändert ist, sein ursprüngliches Gefüge bei. Nicht selten, besonders bei verschiedenen Grünlandsmooren, wird die Schichtung zum Theil durch die vielen, die Schichten senkrecht durchdringenden Rhizome und Wurzelfasern, sowohl der

[1]) *P. Sitensky.* Ueber die Torfmoore Böhmens. Prag. 1891. S. 190.

Wassermonocotylen als auch des Equisetums gestört. In dem Arundinetumtorf und in seinen Combinationen mit anderen Torftypen werden die Schichten quer durch die kiel- bis fingerdicken, hell gefärbten Rhizome von Phragmites communis oder Glyceria spectabilis durchzogen. Diese Rhizome bleiben in ihrem Habitus auch dann erhalten, wenn die übrige Torfmasse durch Zersetzung bereits ein dunkelbraunes, fast schwarzes Aussehen angenommen hat.

Durch das Gefrieren des Wassers wird der Humus lockerer, indem das in den Poren und Lamellen enthaltene Wasser sich hierbei ausdehnt und die Theilchen von einander getrennt werden. Diese Wirkung erstreckt sich zwar nicht immer auf einen vollständigen Zerfall der Humusmasse, ruft aber doch stets in gewissem Grade eine Aufhebung im Zusammenhange derselben hervor. Bei diesem Vorgange wird ein Theil des Wassers ausgeschieden, welches nunmehr schneller verdunstet als vorher, wo es von der humosen Substanz aufgesogen war. Dadurch erklärt sich die Thatsache, dass durchfrorene Torfstücke schneller trocknen als die nicht durchfrorenen.

Nach der Entwässerung wird die Moormasse gleichergestalt poröser, weil ein Theil des Wassers durch diese Operation entfernt wird. Diese Veränderung geht dann mit einer geförderten Durchlüftung der entwässerten Partien Hand in Hand.

Bei stärkerer Zersetzung der zu Tage liegenden Schichten eines Torfmoores, wie solche bei Austrocknung derselben beobachtet wird, zerfallen die absterbenden Pflanzen und Pflanzentheile, wie bereits oben (S. 211) angeführt wurde, mehr oder weniger vollständig und bilden dann ein filzig-erdiges Gemenge, welches fast wie Sägemehl aussieht und eine lockere Structur besitzt (Torf-, Bunker- oder Schollerde).

c) Die Volumveränderungen der Humussubstanzen sind im Allgemeinen sehr beträchtlich und treten in der Weise in die Erscheinung, dass diese Bildungen sich bei der Anfeuchtung ausdehnen und bei der Austrocknung in bedeutendem Grade zusammenziehen. Diese Volumveränderungen sind verschieden, je nach der Beschaffenheit der Substanz und dem Grade der Zersetzung. Der aus Zucker mit Schwefelsäure hergestellte Humus (Zuckerhumus) erfährt unter dem Einfluss der Anfeuchtung und Austrocknung nur minimale Veränderungen in fraglicher Richtung; verhältnissmässig grösser sind dieselben bei dem mit Salzsäure und Aether-Alkohol seiner mineralischen resp. harzigen Bestandtheile beraubten Torf; am umfangreichsten machen sich dieselben jedoch bei den natürlichen Humusstoffen bemerklich, und zwar in um so höherem Grade, je weiter ihre Zersetzung vorgeschritten ist. Zur Illustration dieser Gesetzmässigkeiten können folgende Zahlen dienen, welche in diesbezüglichen Versuchen des Verfassers gewonnen worden sind, und denen gleichzeitig einige solche für die mineralischen Böden beigefügt sind:

	Volumvermehrung bei Anfeuchtung in Procenten der trockenen Masse.
Zuckerhumus	4,814
Torf, mit Salzsäure und Aether behandelt	15,928
Natürlicher Torf aus dem Donaumoor	
aus 0,0—0,2 m Tiefe	46,793
„ 0,2—0,5 „ „	50,154
„ 0,5—0,8 „ „	60,979
„ 0,8—1,1 „ „	83,820

	Volumvermehrung bei Anfeuchtung in Procenten der trockenen Masse.
Quarzsand, grob	0,000
Thon (Kaolin)	36,608
Kalk, kohlensaurer	5,093.

Aus diesen Daten wird ersichtlich, 1) dass die künstlich hergestellten, sowie die mit Salzsäure und Aether-Alkohol extrahirten Humuskörper ein ungleich geringeres Ausdehnungsvermögen bei der Anfeuchtung besitzen als die natürlichen, 2) dass letztere unter solchen Umständen ihr Volumen in viel stärkerem Maasse vergrössern als der Thon, der in dieser Beziehung unter den mineralischen Bodenarten die erste Stelle einnimmt, und 3) dass die natürlichen Humusstoffe um so bedeutendere Volumveränderungen erleiden, je weiter die Zersetzung vorgeschritten ist.

Die starke Ausdehnung und Zusammenziehung der natürlichen Humuskörper bei der Anfeuchtung resp. Austrocknung ist zum Theil auf ihren Gehalt an colloïdalen Bestandtheilen zurückzuführen, welche bei der Wasseraufnahme in beträchtlichem Grade aufquellen und bei eintretendem Wasserverlust bedeutend zusammenschrumpfen. Dafür spricht der Umstand, dass die Volumveränderungen mit Zunahme der Zersetzung der organischen Stoffe in fraglicher Richtung grössere Unterschiede aufweisen, also in dem Maasse, als der Gehalt an Colloïdsubstanzen in dem Humus eine Vermehrung erfährt. Ausserdem besitzen aber zweifelsohne auch die übrigen Humusstoffe und die noch wenig zersetzten Pflanzentheile ähnliche Eigenschaften und tragen dadurch mit zu den in Rede stehenden Erscheinungen bei.

Die geschilderte Contraction (Schwinden) der Humussubstanzen beim Austrocknen ist auch die Ursache davon, dass sich die Torflager nach der Entwässerung allmählich setzen, und zwar um so mehr, je humificirter und je wasserreicher sie ursprünglich waren. So beobachtete z. B. *P. Sitensky* (a. a. O. S. 189), dass ein 2,3 m hohes Torfprofil in drei Jahren auf 1,50 m zusammengeschrumpft, ein anderes fast um ein Drittel kleiner geworden war. Ein fast nur aus reinem Sphagnum cymbifolium gebildeter Moostorf verminderte sich durch das Austrocknen nicht ganz um die Hälfte, ein Specktorf (aus einem stark humificirten Hypneto-Caricetum) auf ein Viertel und ein Schlammtorf sogar auf ein Fünftel seines ursprünglichen Volumens.

Bei der Schwindung des Torfes treten nicht selten Risse und Sprünge auf, die sich entweder, wie es sich bei dem Zerreissen, Zerschlagen und Zerspalten zeigt, in kleinerem Umfange in der Richtung seiner Schichtung oder in Form von Klüften, besonders an den Rändern der Moore, zuweilen von 100 m Länge und darüber, äussern (*Sitensky*).

In Folge ungleicher physikalischer Beschaffenheit der einzelnen Torfschichten und ihrer Theile, vor Allem durch ihre ungleiche Wassercapacität und ungleichen Wassergehalt, schieben sich manchmal die einzelnen Schichten über einander, ja es kann auch ein grosser Theil der Schichten eines auf einer schiefen Unterlage ruhenden Torflagers abrutschen. Auch beobachtet man wohl im Frühjahr, wo die Torflager mit Wasser gesättigt sind, dass sich die Torfstichwände, namentlich die wasserreichen Sphagnumschichten auf geneigter Fläche in den Torfstich hervorschieben, oder an anderen Orten, wie die untere breiartige Hypneto-Cariceto-Schicht in den

Torfstich durch den Druck der consistenteren oberen Schichten heraus-, ja auch emporgepresst wird, so dass im Torflager nach der Torfstichwand parallele Risse zu derselben entstehen und die Torfwand oft ganz einbricht (*P. Sitensky*, a. a. O. S. 193).

In Rücksicht auf das Wachsthum der Nutzpflanzen sind die starken Volumveränderungen der Humusstoffe bei wechselnder Anfeuchtung und Austrocknung, namentlich bei dem Gefrieren und Aufthauen im Winter insofern von ungünstigem Einfluss, als die Pflanzen in Folge dieser Vorgänge mit ihren Wurzeln allmählich über die Erdoberfläche gehoben werden, eine Erscheinung, welche man mit „Aufziehen" und „Auffrieren" der Saaten bezeichnet. Die hierdurch bedingten Schädigungen bestehen darin, dass die Pflanzen des festen Haltes im Boden nach und nach verlustig gehen und dem Lagern unterliegen, oder dass sie wie bei dem Auffrieren in ihrer Existenz gefährdet werden. Aus letzterem Grunde ist der Anbau der Winterfrüchte auf stark humosen Bodenarten ausgeschlossen.

d) Die Cohärescenz (Bindigkeit) der Humusbildungen, d. h. die Kraft, mit welcher die Theilchen aneinander haften, ist, zunächst von Nebenumständen abgesehen, eine verhältnissmässig geringe. Zur Bemessung dieser Kraft kann der Widerstand dienen, welchen die Bodenmasse, sei es durch Zug (relative Festigkeit), sei es durch Druck (absolute Festigkeit), dem Eindringen eines keilförmigen Körpers (Trennungswiderstand) entgegensetzt. Nach diesen verschiedenen Richtungen von *H. Puchner*[1]) mit pulverförmigem Torf und ebenso beschaffenen Mineralböden angestellte Versuche lassen deutlich erkennen, dass unter den verschiedenen Bodenconstituenten die absolute Festigkeit des Humus am geringsten, die des Thones am grössten ist, während jene des Quarzes zwischen beiden Extremen steht. Zum Zerbrechen eines Erdcylinders[2]) von 3 cm Höhe und 2 cm Durchmesser waren nämlich erforderlich:

bei einem Wassergehalt von	60%	40%	20%	0%
	der vollen Wassercapacität:			
Thon	19224 gr	21188 gr	23644 gr	32949 gr
Quarz	4403 „	4679 „	3805 „	775 „
Humus	1292 „	1000 „	542 „	47 „ .

Auch bezüglich des Trennungswiderstandes ergab sich bei diesen drei Hauptbodengemengtheilen genau dieselbe Reihenfolge. Das Gewicht, welches angewendet werden musste, um einen polirten Stahlkeil von 2 cm Breite, 1 cm Höhe und einer Winkelöffnung von 13° in den Boden einzutreiben, stellte sich wie folgt:

Bodenart.	Relativer Wassergehalt der Böden (Wassermenge bei voller Wassercapacität = 100).					
	100%	80%	60%	40%	20%	0%.
Thon . . .	114 gr	2404 gr	9537 gr	11870 gr	15037 gr	20037 gr
Quarz . . .	167 „	2937 „	4237 „	5137 „	8370 „	2370 „
Humus . .	115 „	1404 „	1904 „	1804 „	870 „	487 „ .

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Herausgegeben von *E. Wollny*. Bd. XII. 1889. S. 195.

[2]) Die Erdcylinder wurden aus den Materialien im gesättigten Zustande hergestellt und entsprechend dem erforderlichen Wassergehalt ausgetrocknet. Hieraus erklärt sich, dass sowohl der Quarzsand als auch Humus bei lufttrockener Beschaffenheit (0%) die ihnen gegebene Form behielten.

Berechnet man der besseren Uebersichtlichkeit wegen die Durchschnittswerthe für alle Feuchtigkeitszustände der Materialien und setzt man die absolute Festigkeit und den Trennungswiderstand des Thones = 100, so erhält man folgende Uebersicht:

Bodenart.	Absolute Festigkeit Gewicht gr	Absolute Festigkeit Relatives Verhältniss.	Trennungswiderstand Gewicht gr	Trennungswiderstand Relatives Verhältniss.
Thon	24251	100,00	9833	100,00
Quarz	3415	14,08	3870	39,36
Humus	720	2,97	1097	11,15.

Aus diesen Zahlen lässt sich deutlich ersehen, dass die Cohärescenz des Humus im Vergleich zu den übrigen Bodenconstituenten, besonders zum Thon, eine relativ sehr geringe ist.

Die geschilderten Gesetzmässigkeiten haben indessen nur Giltigkeit für den Humus im feinvertheilten Zustande, also für alle jene Fälle, wo er sich als Gemengtheil im Boden oder mehr oder weniger zerkleinert in Folge von Verwesung oder mechanischer Bearbeitung vorfindet. In grösseren Ablagerungen, wie z. B. in den verschiedenen Mooren, zeigt die Cohärescenz des Humus, wenn er nicht schon von Hause aus schlammartig oder in stärkerem Maasse zerfallen ist, mancherlei Abweichungen von dem durch obige Versuche festgestellten Verhalten. So lange der Torf eine zusammenhängende Masse bildet, ist er zwar im feuchten und nassen Zustande immer weich, aber er wird härter in dem Grade er austrocknet. Der Einfluss der Abnahme der Feuchtigkeit auf die Cohärescenz der Masse macht sich demnach unter solchen Umständen im Vergleich zum gepulvertem Zustande in entgegengesetzter Richtung geltend. Die Erhärtung des Torfes bei der Austrocknung findet in der Regel in um so höherem Maasse statt, je stärker die Contraction, sowie die Humification und der Druck war, unter welchem die Schichten standen. Im Uebrigen ist die Consistenz des Torfes von der Beschaffenheit der ihn bildenden Pflanzen, sowie von Verunreinigungen durch Theile seiner Unterlage, von angeschwemmten mineralischen Erdarten oder von durch Absätze erzeugten Beimengungen abhängig. Im Gemisch mit Mineralböden erleidet der Torf gewöhnlich eine Einbusse in seiner Cohärescenz, und wo Schwefelkies in der Masse fein vertheilt ist, zerfällt ein ziemlich compacter Torf, wenn er ein Jahr an der Luft gelegen und der Kies verwittert ist, und nimmt eine staubige Beschaffenheit an.

e) Die Adhäsion (Klebrigkeit) der Humusstoffe, d. h. die Kraft, mit welcher dieselben an den hölzernen oder eisernen Werkzeugen der Bodenbearbeitungsinstrumente haften, ist verhältnissmässig gering und macht sich nur im gesättigten Zustande des Bodens geltend. In den Versuchen von *J. Schachbasian*[1]) waren zum Abheben einer 100 qcm grossen, auf dem Boden ruhenden Platte folgende Gewichte nothwendig:

bei einem Wassergehalt von		100%	80%	60%
		der vollen Wassercapacität.		
Stahl, polirt	Thon	3347,4 gr	5212,8 gr	3623,6 gr
	Quarz	1956,8 „	0	0
	Humus	1492,6 „	0	0

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XIII. 1890. S. 193.

bei einem Wassergehalt von		100%	80%	60%
		der vollen Wassercapacität.		
Holz	Thon . .	3997,0 gr	4362,0 gr	1954,0 gr
	Quarz . .	1653,2 „	0	0
	Humus . .	1349,6 „	0	0.

Hieraus folgt, dass der Humus nur im nassen Zustande an Holz und Eisen adhärirt und zwar mit ungleich geringer Kraft als der Thon resp. der Quarz.

f) Für ***die Reibung*** der Humuskörper an Holz und Eisen haben die einschlägigen Versuche von *J. Schachbasian*[1]) zu dem Ergebniss geführt, dass der Reibungscoëfficient[2]) bei dem Torf einen im Vergleich zu dem Quarz und Thon mittleren Werth besitzt und mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Masse abnimmt, wie folgende Zahlen darthun:

Beschaffenheit des reibenden Körpers.	Reibungscoëfficient. Thon.	Humus.	Quarz.
		Feucht.	
Stahl, polirt . . .	0,4335	0,6545	0,8250
Holz	0,5345	0,5110	0,8120.
		Trocken.	
Stahl, polirt . . .	0,3320	0,3930	0,3830
Holz	0,4195	0,4810	0,5860.

g) ***Das specifische Gewicht*** (das Verhältniss des Gewichtes der Masse zu dem eines gleichen Volumen Wassers, letzteres gleich 1 gesetzt), im Pyknometer unter Anwendung der Luftpumpe bestimmt, wurde in den Versuchen des Verfassers[3]) für den Humus[4]) zu 1,462 gefunden, während dasselbe sich für den Thon auf 2,503 und für den Quarz auf 2,622 stellte. Von anderen Forschern angestellte Untersuchungen lieferten ein ganz ähnliches Resultat, wie folgende Zahlen zeigen:

	Specifisches Gewicht. Humus.	Thon.	Quarz.
Nach *G. Schübler*[5])	1,370	2,533	2,653
„ *C. Trommer*[6])	1,246	2,452	2,739.

Aus solchen wie den vorstehenden Daten wird geschlossen werden dürfen, dass unter den Bodenconstituenten der Humus eine wesentlich geringere Dichte besitzt als die mineralischen Bodengemengtheile.

Die natürlichen Humusbildungen sind nach Maassgabe der in ihnen vorkommenden Beimengungen häufig von einem höheren specifischen Gewicht, als aus den mitgetheilten Zahlen hervorgeht. Je aschenreicher ein Torf, desto grösser ist seine Dichte, und umgekehrt. Besonders tragen die schweren Eisenverbindungen zur Erhöhung des specifischen Gewichtes bei, welche wie das Morasterz an sich ein

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XIII. 1890. S. 214.

[2]) Die Zahl, welche angiebt, der wievielte Theil der Last zur Ueberwindung der Reibung verwandt werden muss.

[3]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VIII. 1885. S. 341.

[4]) Torf, zunächst mit Aether und Alkohol und hierauf wiederholt mit Salzsäure extrahirt, im pulverförmigen Zustande.

[5]) *G. Schübler.* Grundsätze der Agrikulturchemie. 2. Auflage. Leipzig. 1838. Bd. II. S. 61.

[6]) *C. Trommer.* Die Bodenkunde. Berlin. 1857. S. 258.

specifisches Gewicht von 3,4—4,5, und wie der Schwefelkies ein solches von 5,0—5,2 besitzen.

h) Das Volumgewicht (oder scheinbares specifisches Gewicht) des Humus weicht in einem noch viel höheren Grade von dem der mineralischen Bodengemengtheile ab, als dies bei dem specifischen Gewicht der Fall ist. Bei letzterem kommt bekanntlich nur das Volumen der Bodenmasse ohne die zwischen derselben befindlichen Hohlräume in Betracht, während bei jenem der Raum in Anrechnung gebracht wird, welchen der Boden mit den Lücken einnimmt. Da nun diese in Folge der porösen Beschaffenheit des Humus ausserordentlich zahlreich sind, so muss im Zusammenhalt mit der geringen Dichte der Substanz auch das Volumgewicht des Humus sehr klein ausfallen. Bezieht man das Volumgewicht auf das Gewicht eines gleich grossen Volumen Wassers, so ergeben sich für die chemisch reinen Hauptbodengemengtheile im lufttrockenen Zustande und bei mässig dichter Lagerung der Bodentheilchen nach den Untersuchungen des Verfassers[1]) folgende Werthe:

Volumgewicht.		
Humus.	Thon.	Quarz.
0,3349	1,0108	1,4485.

Das Volumgewicht des Humus ist hiernach dreimal resp. über viermal kleiner als dasjenige des Thones und Quarzes. Natürlich ändert sich das Volumgewicht, je nachdem die Theilchen mehr oder weniger dicht zusammengelagert sind und die Masse ihrem Zersetzungsgrade entsprechend ein grösseres oder geringeres specifisches Gewicht besitzt. In gleicher Weise werden Aenderungen in dieser Richtung hervorgerufen durch die dem Humus beigemengten mineralischen Bestandtheile, deren Dichte eine ungleich grössere ist als die des Humus. In Ansehung dieser Umstände kann die Thatsache nicht befremden, dass das Volumgewicht der in der Natur vorkommenden Humusbildungen zuweilen kleiner, öfters aber grösser ist als das oben angegebene. Die bezüglichen Abweichungen lassen sich am besten erkennen, wenn man die Ergebnisse der Bestimmungen des Volumgewichtes verschiedener Torfsorten in Rücksicht zieht.

Nach *F. Sitensky*[2]) zeigen die unzersetzten oder sehr wenig zersetzten Sphagnetum- und Eriophoreto-Sphagnetumtorfsorten ein Volumgewicht von 0,18—0,27, bezogen auf die lufttrockene Substanz. Etwas grösser ist dasselbe bei dem schwach humificirten Hypnetum- und Caricetumtorfe (0,25—0,34). Von mittlerem Volumgewicht (0,30—0,60) sind die braunen, stärker humificirten, von mineralischen Beimengungen freien Torfe, besonders der meisten Hochmoore. Das grösste Volumgewicht, 0,90—1,50, haben die plastischen, im trockenen Zustande mehr oder weniger steinharten alten Grünlandsmoortorfe und Hochmoortorfe, die durch Beimengungen ihres mineralischen Untergrundes verunreinigt sind. Bis über 2,0 schwer sind jene Wiesenmoorbildungen, die mit Morasterz vermengt sind.

In den Untersuchungen *M. Fleischer*'s[3]) schwankte das Volumgewicht, bezogen auf die vollständig trockene Substanz, bei den in den Hochmooren an der Oberfläche bis zu 15 cm Tiefe auftretenden Haidehumussorten zwischen 0,107—0,211

---

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VIII. 1885. S. 349.

[2]) a. a. O. S. 195.

[3]) *M. Fleischer.* Landw. Jahrbücher. Von *H. Thiel.* Bd. XX. 1891. S. 378 u. ff.

und betrug im Durchschnitt bei 39 Proben: 0,140. Der Sphagnumtorf zeigte ein solches zwischen 0,048—0,098.

Im feuchten und nassen Zustande besitzt der Humus ein beträchtlich höheres Volumgewicht als im lufttrockenen und trockenen, und zwar übt das Wasser bei dieser Substanz hierbei einen ungleich grösseren Einfluss aus als bei den übrigen Bodenconstituenten, was leicht begreiflich ist, wenn man berücksichtigt, dass der Humus unter allen Bodengemengtheilen die grösste Wassercapacität besitzt. Zur Illustration dieser Verhältnisse können folgende, aus Beobachtungen des Verfassers entnommene Zahlen dienen:

	Volumgewicht. Lufttrocken.	Volumgewicht. Mit Wasser gesättigt.	Zunahme des Gewichtes durch Anfeuchtung.
Humus[1] . . .	0,3565	1,1024	209,2 %
Thon	1,0395	1,6208	55,9 „
Quarzsand . .	1,4508	1,8270	25,9 „ .

Die Sättigung des Humus mit Wasser hatte sonach eine weit beträchtlichere Erhöhung des Volumgewichtes zur Folge als bei den übrigen Bodenconstituenten.

Aehnliche Unterschiede, wie solche in den vorstehend mitgetheilten Versuchen sich bemerkbar machten, beobachtete *F. Sitensky*, wie nachstehende Zahlen darthun:

	Volumgewicht. Lufttrocken.	Volumgewicht. Nass.
Sphagnetum	0,125	0,893
Sphagneto-Polytrichetum .	0,18	0,73
Calluneto-Vaccinietum . .	0,40	0,61.

M. Fleischer fand bei 39 Proben von Haidehumus im Durchschnitt das Volumgewicht der lufttrockenen Substanz zu 0,140, der nassen zu 0,869.

i) Die Bearbeitbarkeit der Humusböden, welche füglich an dieser Stelle besprochen werden kann, wird nach den ad d, e, f und h geschilderten Eigenschaften derselben beurtheilt werden können. Für die Widerstände, welche bei der mechanischen Bearbeitung der Böden zu überwinden sind, kommen hauptsächlich in Betracht die Cohärescenz, die Adhäsion, die Reibung und das Gewicht des Erdreiches.

Inwieweit diese Eigenschaften in fraglicher Richtung maassgebend sind, lässt sich annähernd ermessen, wenn man für dieselben nach den Ergebnissen der oben mitgetheilten Versuche folgende bildliche Darstellung[2]) wählt.

Es bedeutet: ☐ gering, ▥ mittel, ■ hoch.

Eigenschaften.	Thon.	Quarz.	Humus.
Cohärescenz (Trennungswiderstand) . . .	■	☐	☐
Adhäsion (60% der vollen Wassercapacität)	■	☐	☐
Reibung (Stahl und Holz)	☐	■	▥
Volumgewicht	▥	■	☐

[1]) Gepulverter Torf, mit Salzsäure und Aether-Alkohol extrahirt.

[2]) Vergl. *A. Nowacki.* Praktische Bodenkunde. 2. Auflage. Berlin. 1892. S. 74.

Hiernach muss angenommen werden, **dass der Humus bei der Bearbeitung die geringsten, der Thon die grössten Schwierigkeiten darbietet und der Quarz in dieser Beziehung ein mittleres Verhalten zeigt.**

2. Das Verhalten der Humusstoffe zum Wasser.

Die jeweils im Boden vorkommenden Wassermengen sind von einer Reihe von physikalischen Eigenschaften desselben abhängig, deren Einzelwirkungen hier zunächst besprochen werden sollen, um die complicirten diesbezüglichen Vorgänge in der Natur dem Verständniss näher führen zu können.

a) Die Leitung des Wassers im Boden. Wie alle porösen Körper, so haben auch die verschiedenen Humussubstanzen das Vermögen, das Wasser capillar zu leiten. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Wasser hierbei in der Humussubstanz bewegt, ist im Allgemeinen eine langsame, namentlich wenn die Masse eine dichte Beschaffenheit besitzt[1]), und zwar, weil in dem Grade, als der Feuchtigkeitsgehalt der Substanz zunimmt, die Capillaren in Folge der gleichzeitig stattfindenden Volumvermehrung der Partikel sich bedeutend verengen. Unter derartigen Umständen erfolgt die capillare Leitung langsamer als im Thon, welcher unter den mineralischen Bodenconstituenten der Bewegung des Wassers die grössten Hindernisse entgegenstellt. Bei lockerer Lagerung der Partikel und im pulverförmigen Zustande der Substanz ist die Bewegung wesentlich gefördert, doch erreicht sie auch unter solchen Verhältnissen nicht die Geschwindigkeit wie im Quarzsande, wenngleich sie in diesem Falle schneller vor sich geht als im Thon[2]). Abgesehen von Nebenumständen ist demnach die Wasserleitung in Bezug auf die Geschwindigkeit eine sehr verschiedene, je nachdem die Substanz ein dichteres oder lockereres Gefüge besitzt. In Ansehung der Höhe gehören die Humusstoffe zu jenen Bodenconstituenten, welche in dieser Beziehung bedeutende Wirkungen auszuüben vermögen, doch dürfte der reine Humus, soweit die vorliegenden Beobachtungen dies erkennen lassen, nur in seltenen Fällen und nur unter günstigen Umständen das Wasser höher als etwa 1,5 m bis höchstens 2 m hoch auf capillarem Wege heben.

Nicht unbeachtet darf auch die Thatsache bleiben, dass die durch Capillarität bedingte Wasserbewegung nur bei einem höheren Wassergehalt der Substanz stattfindet. Diese Art der Leitung hört in dem Humus bei ca. 50 % der Maximalwassermenge auf, welche der Boden überhaupt zu fassen vermag, und an ihre Stelle tritt eine ungleich langsamere Bewegung, welche durch den Uebertritt des von den Oberflächen festgehaltenen Wassers von einem Partikelchen zum anderen hervorgerufen wird. Sind die Wasserhüllen dadurch über eine gewisse Grenze hinaus verringert, so wird die Wasserbewegung überhaupt sistirt.

Das Eindringen des Wassers in die Masse, also die Bewegung desselben von oben nach unten, erfolgt bei dem Humus ebenfalls im Grossen und Ganzen sehr langsam. In den sich mit Flüssigkeit sättigenden Schichten verkleinern sich die Poren durch Aufquellen der Theilchen derart, dass der Fortbewegung des Wassers sich sehr erhebliche Widerstände entgegenstellen. Bei lockerer Lagerung, sowie in

---

[1]) *H. v. Klenze.* Landw. Jahrbücher. 1877. Heft 1.

[2]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VIII. 1885. S. 209.

dem Falle, wo sich in der Masse grössere Lücken befinden, wird die Abwärtsbewegung des Wassers beschleunigt.

Bei den natürlichen Humusablagerungen (Moore) macht sich die Leitung des Wassers erst dann bemerklich, wenn der Torf dem Grundwasserniveau entwachsen ist oder das Grundwasser durch das Entwässern gesenkt wurde. Unter solchen Verhältnissen ist die Capillarität eine ausserordentlich verschiedene und erweist sich abhängig von den Eigenschaften der Pflanzen, welche zur Bildung des Humus beitrugen, sowie von dem Zersetzungsgrade der Substanz.

Im Allgemeinen ist der Torf der Hochmoore unter übrigens gleichen Umständen zur Emporhebung des Wassers in weit höherem Maasse befähigt als jener der Wiesen- oder Grünlandsmoore. Diese Unterschiede sind vornehmlich durch solche in dem anatomischen Bau der moorbildenden Pflanzen bedingt. Wie bereits früher (S. 208) ausgeführt wurde, stellen die in den Hochmooren vorkommenden Sphagnenstengel einen Riesencomplex von ungemein engen cylindrischen Röhrchen dar, welche das Wasser in Folge ihrer ausgezeichneten Capillarität vorzüglich zu leiten vermögen. Dazu kommt, dass die Sphagnumstengel durch ihre alljährliche Verzweigung immer dichter werden. In Folge dieser Eigenthümlichkeiten wird das Wasser in dem Hochmoortorf weit besser emporgehoben als in dem Niederungsmoortorf, weil hier die capillaren Stengelzellen fehlen und die Zahl der Haarröhrchen überhaupt eine geringere ist. Im Uebrigen kann die Leitung des Wassers in dem Torf der beiden Moorbildungen eine verschiedene sein und zwar ist dieselbe nicht allein abhängig von dem Bau resp. der Standdichte der moorbildenden Pflanzen, sondern auch von dem Zersetzungsgrade. In der wenig humificirten Substanz wird das Wasser ungleich besser geleitet als in dem Falle, wo die Zersetzung in derselben bereits weit vorgeschritten ist. Durch mechanische Zerkleinerung der Torfmasse wird die Capillarität in derselben unter sonst gleichen Verhältnissen bedeutend gefördert und zwar um so mehr, je feiner die Theilchen sind. Diese Thatsache ist, wie im dritten Abschnitt gezeigt werden soll, in Bezug auf die Cultur solcher Bodenarten von grosser Bedeutung.

b) Die Wassercapacität oder das Wasseraufspeicherungsvermögen bezeichnet jene Eigenschaft des Bodens, mittelst welcher derselbe das ihm zugeführte Wasser in höherem oder geringerem Grade festzuhalten vermag. Die diesbezüglichen Wassermengen werden aus hier nicht näher anzuführenden Gründen[1]) zweckmässig in Procenten des Volumens des Bodens ausgedrückt.

Das Wasser wird im Boden nach dem Aufhören der Bewegung sowohl durch Flächenattraction, als auch durch Capillarkraft, sowie durch Anziehung seitens der Colloïdsubstanzen zurückgehalten.

Untersucht man eine durchfeuchtete Bodensäule, nachdem die Wasserbewegung aufgehört hat, so zeigt sich, dass der Wassergehalt von oben nach unten zunimmt und dass derselbe in den oberen Partien, bei genügender Höhe der Erdsäule, von einer gewissen Grenze ab constant wird. Die Ursache hiervon beruht darauf, dass das Wasser in den obersten Schichten nur durch Flächenattraction und durch die feinsten Capillaren festgehalten wird, während die weniger feinen, gröberen und

[1]) *A. Mayer.* Landw. Jahrbücher. 1874. S. 753 u. *Fühling*'s landw. Zeitung. 1875.

gröbsten Haarröhrchen sich entleeren. Je tiefer die Schichten gelegen sind, um so mehr Poren von grösserem Durchmesser betheiligen sich an der Zurückhaltung des Wassers, bis schliesslich bei entsprechender Feinheit der Bodentheilchen sich in der untersten Partie selbst in den gröbsten Hohlräumen capillare Wassersäulen bilden und der Boden sich vollständig mit Wasser sättigt. Auf Grund dieser Erscheinung unterscheidet man eine absolute oder kleinste Wassercapacität, welche in denjenigen Wassermengen zum Ausdruck gelangt, welche in den obersten Schichten genügend langer Erdsäulen lediglich durch Adhäsion und mit Hülfe der kleinsten Capillaren zurückgehalten werden und eine volle oder grösste Wassercapacität, bei welcher sämmtliche capillare Hohlräume des Bodens mit Wasser erfüllt sind.

Hinsichtlich der Wassercapacität zeigen die gereinigten Bodenconstituenten im pulverförmigen Zustande nach den Versuchen des Verfassers[1]) folgende Unterschiede:

	Grösste	Kleinste
	Wassercapacität.	
Humus	74,59 Vol. %	55,35 Vol. %
Thon	58,13 „ „	53,19 „ „
Quarz	37,62 „ „	33,04 „ „ .

Diese Zahlen vermitteln die Thatsache, dass die Wassercapacität bei dem Humus und demnächst bei dem Thon am grössten, bei dem Quarz dagegen am geringsten ist.

Das ausserordentliche Wasseraufspeicherungsvermögen der Humusstoffe, wie sich solches aus den mitgetheilten Daten zu erkennen giebt, ist bedingt einerseits durch die Feinheit der Capillaren, andererseits durch die Porosität der Bodenelemente und durch den Gehalt an Colloïdsubstanzen. Die aus der Zersetzung der Pflanzenreste hervorgegangenen Partikel sind, abgesehen von gewissen Eigenthümlichkeiten, quasi von ganz feinen Haarröhrchen durchzogen, welche das von aussen an sie herantretende Wasser energisch in sich einsaugen. Dasselbe gilt auch von den vorhandenen colloïdalen Bestandtheilen, welche ausserdem bei der Wasseraufnahme ihr Volumen vermehren, wodurch der Durchmesser der Capillaren verengt und die Wasserleitung verlangsamt wird. Wenngleich die Wassercapacität bei den in der Natur in grösserem Maassstabe vorkommenden Humusbildungen (Moore) gleichergestalt eine sehr hohe ist, so schwankt dieselbe doch innerhalb weiter Grenzen. Die sich geltend machenden Unterschiede sind vornehmlich abhängig von gewissen Eigenschaften der humusbildenden Pflanzen sowohl, als auch von dem Zersetzungsgrade und der Zerkleinerung der Masse, wie auch von der Dichte der Lagerung der Partikel.

Zunächst kann man die Beobachtung machen, dass der aus Sphagnen gebildete Hochmoortorf caeteris paribus eine ungleich höhere Wassercapacität besitzt, als der hauptsächlich aus Cariceen, Süssgräsern u. s. w. hervorgegangene Grünlandsmoortorf. Bei dem Sphagnumtorf kommt sowohl die oben geschilderte Capillarität der Sphagnumstengel zur Geltung, wie auch das Wasserabsorptionsvermögen ihrer Rinden, namentlich aber das der hyalinen Blätterzellen, in welche durch ihre zahlreichen Poren das Wasser eindringen kann, um dort mit Hülfe der leistenförmigen Fasern auf der Innenseite der Zellen festgehalten

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik Bd. VIII. 1885. S. 195 u. 198.

zu werden, während bei den das Grünlandsmoor bildenden Pflanzen nicht nur die capillaren Stengelzellen, sondern auch die porösen, hyalinen Zellen, welche das grosse Wasseraufsaugungsvermögen der Sphagnen bedingen, fehlen. Inwieweit die Unterschiede in der Wassercapacität zwischen Hoch- und Wiesenmoortorf Platz greifen können, ergiebt sich aus folgenden vom Verfasser ermittelten Daten. Die betreffenden Materialien befanden sich in fein zerkleinertem und dichtem Zustande und wurden bei der Wasseraufnahme in einer Weise behandelt, dass unter übrigens gleichen Umständen die gewonnenen Werthe etwa der mittleren Wassercapacität entsprechen.

Torfsorten.	Wassercapacität.	
Aus Hochmooren.	Vol. %	Gew. %
Oldenburger Streutorf, wenig zersetzt, fein (< 1 mm)	78,6	454,0
„ „ „ „ „ „	70,3	497,2
„ „ „ „ „ „	81,8	621,6
„ „ „ „ grob (> 4 mm)	79,7	465,2
Haspelmoor (Mull), stärker zersetzt, fein (< 1 mm)	70,3	339,4.
Aus Grünlandsmooren.		
Schleissheimer Moor, stark zersetzt, fein (> 1 mm)	55,5	128,8
„ „ „ „ „ „	62,4	149,7
„ „ „ „ „ „	55,2	163,5
„ „ „ „ grob (> 4 mm)	66,6	152,1
Donaumoor „ „ fein (< 1 mm)	67,2	153,1.

Hiernach besitzen die Torfsorten aus Hochmooren eine höhere Wassercapacität als jene aus Grünlandsmooren. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die betreffenden Zahlen zwar die zwischen beiden Moorsorten bestehenden relativen Unterschiede erkennen lassen, aber nicht ohne Weiteres als absolute Werthe erachtet werden können, weil die in diesen Versuchen benutzten Materialien vorher vollständig ausgetrocknet waren und in diesem Zustande weit weniger Wasser aufnehmen als im feuchten. In der That ist das Wasseraufspeicherungsvermögen des Torfes unter natürlichen Verhältnissen absolut meist ein beträchtlich grösseres, als aus den mitgetheilten Zahlen hervorgeht. Unzersetzter oder wenig zersetzter Sphagnumtorf vermag unter Umständen 1000—2000 % und ein ebenso beschaffener Torf aus Grünlandsmooren etwa 350—600 % Wasser aufzunehmen[1]). Wie ausserdem aus diesen Zahlen ersichtlich ist, kann die Aufsaugungskraft des Torfes innerhalb der beiden Gruppen sehr verschieden sein, eine Thatsache, die sich in einfacher Weise sowohl aus den Verschiedenheiten der den Torf

[1]) Auf das Volumen bezogen sind die Unterschiede in der Wassercapacität natürlich beträchtlich geringer, weil die Werthe stets kleiner sind als 100. Ein Sphagnumtorf, schwach zersetzt, kann z. B. bei einem Volumgewicht von 0,050, 10 % hygroskopischer Feuchtigkeit und einem spec. Gewicht von 0,3 im gesättigten Zustande pro 100 Vol. 98,50 Vol. Wasser enthalten. Demnach beträgt die Wassercapacität nach dem Volumen 98,5 %, während sie sich nach dem Gewicht unter solchen Umständen auf 1973 % berechnet. Unter denselben Bedingungen würde sich bei einem Volumgewicht von 0,150 die Wassercapacität nach dem Volumen auf 95,52 % und nach dem Gewicht auf 637 % stellen. Da nun, gleiche Sättigung vorausgesetzt, das Volumen des Wassers nothwendigerweise um so kleiner sein muss, je grösser der von der festen Substanz eingenommene Raum ist, d. h. je grösser das Volumgewicht ist, so steht die Wassercapacität nach dem Volumen bei gleicher substantieller Beschaffenheit des Humus zu dem Volumgewicht in einem umgekehrten Verhältniss.

bildenden Pflanzenarten, als auch aus solchen des Wachsthums und des Standes dieser Pflanzen erklären lässt.

In dem Maasse, als die Zersetzung der Pflanzen fortschreitet, nimmt die Wassercapacität des Torfes ab. Diese Erscheinung möchte auf den ersten Blick befremdlich erscheinen, weil man in Rücksicht darauf, dass mit der Humification die Bildung der das Wasser stark anziehenden colloïdalen Bestandtheile eine Zunahme erfährt, geneigt sein könnte, a priori das Umgekehrte anzunehmen. Allein es bleibt hierbei besonders zu berücksichtigen, dass gerade die nicht oder wenig veränderten Pflanzen und Pflanzentheile es sind, welchen das Vermögen zukommt, grosse Wassermengen aufzuspeichern, und dass in Folge dessen in dem Grade, als sie durch die Zersetzung zerstört werden, und die Substanz allmählich in den amorphen Zustand übergeht, auch deren Wasserfassungsfähigkeit eine Verminderung erfahren muss, welche durch die gleichzeitig, immerhin in einem geringen Umfange erfolgende Zunahme in der Menge der Colloïdsubstanzen nicht ausgeglichen werden kann.

Neben dem Zersetzungsgrade ist unter sonst gleichen Verhältnissen die Dichte des Torfes, sowie die Zerkleinerung desselben von Belang. Je dichter der Torf ist, um so geringer ist bei übrigens gleicher Beschaffenheit seine Wassercapacität und umgekehrt. Durch mechanische Zerkleinerung wird die Wassercapacität erhöht in dem Maasse, als die Theilchen feiner sind. Enthält der Torf neben den amorphen Bestandtheilen noch unzersetzte Pflanzenreste, insbesondere viele ziemlich erhaltene Sphagnumblätter, so ist sein Wasseraufsaugungsvermögen im pulverisirten Zustande um so grösser, je mehr Sphagnumblätter und Sphagnumrindenzellen in ihm vorhanden und je weniger diese humificirt sind, was aus dem oben geschilderten Bau der Sphagnummoose leicht begreiflich ist (*F. Sitensky* a. a. O. S. 201.) Derartig zerkleinerter Torf nimmt bei lockerer Lagerung der Theilchen dem Gewicht nach mehr Wasser auf als bei dichter, wie folgende Zahlen aus Versuchen des Verfassers darthun.

	Wassercapacität, gewichtsprocentisch.			
	Oldenburger Torf.	Haspelmoortorf.	Schleissheimer Torf.	
	fein.	fein.	fein.	grob.
Lockere Lagerung	599,9%	483,5%	202,3%	181,4%
Dichte „	497,2 „	339,4 „	163,5 „	152,1 „.

Bezogen auf das Volumen nimmt die Wassercapacität jedoch in dem Grade zu, als die Theilchen enger aneinander gelagert sind, wie aus folgenden Zahlen ersichtlich ist:

	Wassercapacität, volumprocentisch.			
	Oldenburger Torf.	Haspelmoortorf.	Schleissheimer Torf.	
	fein.	fein.	fein.	grob.
Lockere Lagerung	64,4%	68,4%	54,7%	59,3%
Dichte „	70,3 „	70,3 „	55,2 „	66,6 „.

Für das Wasseraufsaugungsvermögen des Torfes ist weiters auch der Feuchtigkeitsgehalt desselben von grossem Einfluss. Im Allgemeinen nimmt er das Wasser um so schwieriger auf, je trockener er ist. Aber während die unzersetzten oder wenig zersetzten Substanzen, mit Wasser zusammengebracht, sich, wenn auch langsam, bis auf das ursprüngliche Maass sättigen, nimmt der stark humificirte Torf im ausgetrockneten Zustande kein Wasser auf und zeigt jene Eigenschaft, die man mit

„Nichtbenetzbarkeit" des Torfes bezeichnet hat. Davon kann man sich auf tief entwässerten Mooren überzeugen, in denen die amorphen Schichten, wenn sie einmal ausgetrocknet sind, sich nicht durchfeuchten; sie leiten das Wasser nicht nach oben und das durch die Niederschläge zugeführte sinkt schnell durch die nichtcapillaren Hohlräume in die Tiefe, ohne dieselben zu benetzen. Die Ursache dieser Erscheinung ist noch wenig aufgeklärt; wahrscheinlich ist dieselbe darauf zurückzuführen, dass die ausgetrockneten Torftheilchen mit einem Harzüberzug versehen sind, welcher der Aufnahme des Wassers seitens derselben hinderlich ist[1]).

Schliesslich darf nicht unerwähnt bleiben, dass der Frost in dem feuchten resp. nassen Torfboden Veränderungen hervorruft, welche mit einer Verminderung der Wassercapacität desselben verknüpft sind. Nach *M. Fleischer*[2]) verlor eine Probe Moorboden, welche 1631 gr Wasser enthielt, nach dem ersten Gefrieren 125 gr, nach dem zweiten 25 gr, in Summa 150 gr oder 9,1% des ursprünglich festgehaltenen Wassers. Die Wassercapacität des Torfes wird um so mehr herabgesetzt, je grössere Zwischenräume in demselben durch den Frost gebildet werden.

c) Die Permeabilität für Wasser, welche in denjenigen Wassermengen zum Ausdruck gelangt, die in einer gewissen Zeit durch eine Bodenschicht von bestimmter Mächtigkeit filtriren, ist bei dem Humus im pulverförmigen Zustande eine äusserst geringe. In diesbezüglichen Versuchen des Verfassers[3]) betrug z. B. die durch eine Bodenschicht von 30 cm Höhe und 19,634 qcm Querschnitt in 10 Stunden bei einem Wasserdruck von 100 cm filtrirte Wassermenge in Litern:

Torf von Aibling, Oberbayern,	Korngrösse 0,01—0,114 mm . .	0,0182
„ „ Oldenburg,	„ 0,01—0,250 „ . .	0,2582
Thon (Kaolin)	. . . .	0,000
Kalksand,	Korngrösse 0,01—0,250 mm . .	2,586.

Der Humus, gepulvert, ist hiernach fast undurchdringlich für Wasser. Die Permeabilität nimmt jedoch zu mit der Grösse der Partikel, ohne indessen jene der mineralischen Böden bei gleicher Korngrösse zu erreichen. Die Ursache des geschilderten Verhaltens der Humusstoffe ist unstreitig darin zu suchen, dass bei der Imbibition mit Wasser die Theilchen aufquellen, wodurch die zwischen denselben befindlichen Hohlräume verengt und unter Umständen vollständig verschlossen werden. Wo der Humus in der Natur in grösseren Massen, wie z. B. in den Mooren abgelagert ist, ist das Durchlässigkeitsvermögen im Allgemeinen etwas grösser als angegeben, weil sich in der Masse einerseits grössere Lücken befinden, welche sich schnell von Wasser entleeren, und andererseits solche, im Falle einer Entwässerung, bei der Austrocknung in Folge der dabei stattfindenden Contraction, sich leicht bilden. Im Uebrigen ist die Permeabilität des Humus für Wasser von der mehr oder weniger dichten Beschaffenheit der Masse abhängig, und zwar in der Weise, dass die unter

---

[1]) *Lorenz.* Drittes Programm des k. k. Gymnasiums. Salzburg. 1853. — Moore von Salzburg. Flora 1858. — *Wiegmann* (Ueber die Entstehung, Bildung und das Wesen des Torfes. Braunschweig. 1837. S. 17) weist in dieser Beziehung darauf hin, dass die völlig trockene Humussäure nur äusserst schwer im Wasser aufquillt.

[2]) *M. Fleischer.* Landwirthschaftliche Jahrbücher. Bd. XX. 1891. S. 784.

[3]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XIV. 1891. S. 16.

sonst gleichen Umständen durch den Boden filtrirenden Wassermengen um so grösser sind, je lockerer die Lagerung der Theilchen ist, und vice versa.

d) Das Verdunstungsvermögen wird bei den Böden am zweckmässigsten nach den Wassermengen bemessen, welche von der Flächeneinheit in Dampfform an die Atmosphäre abgegeben werden. Dasselbe ist einerseits von dem Wassergehalt des Erdreiches, andererseits davon abhängig, in welcher Weise der Verdunstungsverlust an der Oberfläche desselben von unten her auf capillarem Wege ersetzt wird. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass die Wassercapacität des Humus eine sehr grosse und die Leitung des Wassers eine zwar langsame ist, aber bis zu ziemlich bedeutenden Höhen stattfindet, wird schon im Voraus angenommen werden können, dass der Betrag der Verdunstung bei Humusböden einen beträchtlichen Werth erreichen wird. Dies ist in der That der Fall, wie aus folgenden Zahlen[1]) ersichtlich ist, die gleichzeitig die Unterschiede in Bezug auf fragliche Eigenschaften zwischen den Bodenconstituenten[2]) darthun:

(Böden drainirt.)	Verdunstungsmengen pro 1000 qcm Fläche in gr.		
	Torf.	Thon.	Quarzsand.
Vom 5. Juni—6. Juli 1883	7078	5248	4465
„ 11. Sept.—17. Oct. „	4442	4172	3328.

Diesen Zahlen wäre zu entnehmen, dass der Humus unter allen Bodengemengtheilen mit dem stärksten Verdunstungsvermögen ausgestattet ist. Dies trifft jedoch nach anderweitigen Beobachtungen nur zu, wenn die Erdsäule, wie in den vorstehenden Versuchen, niedrig[3]) und der Boden fein pulverisirt ist. Bei grösserer Mächtigkeit der Bodenschicht und gröberem Gefüge verdunstet der Humus in der Regel weniger Wasser als der Thon, weil er in diesem Falle das Wasser nicht schnell genug an die Oberfläche leitet und die vorhandenen grösseren Hohlräume den Aufstieg des Wassers verlangsamen[4]). Es giebt sich dies unter derartigen Umständen in einer Abtrocknung der zu Tage tretenden Schichten zu erkennen. Sobald aber diese erfolgt ist, wird der directe Einfluss der Verdunstungsfactoren auf die Bodenfeuchtigkeit in einem ausserordentlichen Grade vermindert[5]). Diese Austrocknung der oberflächlichen Schichten macht sich dann bemerklich, wenn der Wasservorrath im Boden auf ca. 50 % der vollen Wassercapacität gesunken und die capillare Aufwärtsbewegung zum Stillstand gebracht ist. Umgekehrt wird die Verdunstung gefördert in dem Maasse, als der Boden über jene Grenze hinaus mit einem grösseren Wasservorrath versehen ist. Unter Berücksichtigung dieser Erscheinungen findet man leicht eine Erklärung für die Thatsache, dass die Verdunstungsmengen eines feuchten Bodens bei länger andauernder Trockenheit stetig abnehmen und auf ein Minimum herabsinken, sobald die capillare Leitung in Folge der Verminderung des Waservorrathes auf eine bestimmte, wie angegebene Grenze sistirt ist. Die sich alsdann bildende trockene Schicht auf der Oberfläche schützt den Boden vor stärkerer Verdunstung und bewirkt, dass derselbe, wenn er

[1]) *C. Eser.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VII. 1884. S. 81.
[2]) Dieselben befanden sich in fein gepulvertem Zustande.
[3]) 10—20 cm.
[4]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VII. 1884. S. 283.
[5]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. III. 1880. S. 325.

nackt ist, weiterhin keine Einbusse in seinem, immerhin noch beträchtlichen Wasservorrath erleidet.

Neben dem durch die Grösse der Partikel bedingten Gefüge ist für die Verdunstung auch der Grad der Zusammenlagerung derselben mit maassgebend. Je dichter die Masse und je besser in Folge dessen die Leitung des Wassers ist, um so grössere Mengen von Wasser werden unter sonst gleichen Umständen an die Atmosphäre abgegeben und umgekehrt. Bei vollständiger Sättigung mit Wasser verschwinden die Unterschiede in dem Verdunstungsvermögen der verschiedenen Bodenarten, weil dieselben unter solchen Verhältnissen fast mit dem gleichen Feuchtigkeitsvorrath ausgestattet sind und den äusseren Verdunstungsfactoren gleiche Wassermengen darbieten [1]).

e) Die Gesammtwirkung der Factoren der Bodenfeuchtigkeit macht sich in der Natur je nach den Witterungsverhältnissen in mannigfacher Weise bemerkbar. Bei feuchter Witterung sättigt sich der Boden entsprechend seiner Wassercapacität mit Wasser und giebt, sobald dies erreicht ist, bei weiterer Zufuhr den Ueberschuss in die Tiefe ab. In Trockenperioden verliert der Boden mehr oder weniger grosse Mengen von dem aufgespeicherten Wasser durch Verdunstung und bei dem Wiedereintritt von Niederschlägen wird zunächst ein Theil derselben zum Ersatz des in der vorhergehenden Periode verdunsteten Wassers verwendet bis zur Sättigung des Bodens, worauf erst wieder eine Absickerung nach unten eintreten kann. Demnach ist die Bodenfeuchtigkeit fortwährenden Schwankungen unterworfen, die sowohl von der physikalischen Beschaffenheit des Erdreiches, als auch von den jeweiligen Witterungsverhältnissen abhängig sind. Für den vorliegenden Zweck dürfte es genügen, die Gesammtwirkung der maassgebenden Momente in's Auge zu fassen, wie solche sich aus einigen Versuchen des Verfassers [2]), die mit Hülfe von sogen. Lysimetern ausgeführt wurden, erkennen lässt.

	Mittlerer Volumprocentischer Wassergehalt bis zu 0,3 m Tiefe.		
	Torf.	Lehm.	Quarzsand.
1. April bis 30. September 1882	43,90	34,35	11,68
5. „ „ 30. „ 1884	42,12	34,23	12,34
Mittel aus beiden Jahren:	**43,01**	**34,29**	**12,01**
Relatives Verhältniss:	3,58	2,85	1.

Hieraus folgt, dass von den Hauptbodengemengtheilen der Humus (Torf) die grössten Wassermengen enthält, dann folgt der Thon (Lehm), während der Quarzsand den geringsten Wassergehalt aufweist. Der Torf enthielt drei und einhalb, der Lehm beinahe drei Mal so viel Wasser als der Sand.

Offenbar ist zunächst für den Wassergehalt des Erdreiches die Wassercapacität desselben von wesentlichstem Belang, wie schon aus dem Umstande geschlossen werden darf, dass die in vorliegenden Versuchen verwendeten Materialien in Bezug

[1]) *C. Eser.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VII. 1884. S. 81. — *E. Wollny.* Landwirthschaftliche Jahrbücher. Bd. V. 1876. S. 457.

[2]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVIII. 1895. S. 36.

auf volumprocentischen Wassergehalt entsprechend ihrer Wassercapacität rangiren. In dem Grade die Wasseraufspeicherung in den Böden eine grössere ist, nimmt die Abfuhr in die Tiefe nothwendigerweise ab und umgekehrt. Deshalb sind die Sickerwassermengen in dem Sande ungleich grösser als in dem Humus resp. in dem Lehm. Umgekehrt stellt sich die Verdunstung, weil ganz allgemein der an der Oberfläche stattfindende Feuchtigkeitsverlust mit dem Wassergehalt steigt und fällt und die obersten Schichten in dem gleichen Grade um so langsamer resp. um so schneller abtrocknen und so dem Material gegenüber den Verdunstungsfactoren einen geringeren oder grösseren Schutz gewähren.

Die beiden für den Wassergehalt der Böden neben der Wassercapacität maassgebenden Vorgänge erweisen sich sonach je nach der mechanischen Zusammensetzung des Materials von verschiedener Wirkung. In dem Sande überwiegt die Absickerung und tritt die Verdunstung zurück, während in dem Humus und Thon die Verdunstung die Absickerung überwiegt. Dies ergiebt sich deutlich aus der Gegenüberstellung der betreffenden Werthe, die in den angezogenen Versuchen ermittelt wurden.

1882.	Torf.	Lehm.	Quarzsand.
Verdunstung pro 400 qcm Fläche	13216 ccm	15718 ccm	7893 ccm
Absickerung pro 400 qcm Querschnitt und 0,3 m Tiefe . .	10415 „	5395 „	16638 „ .
1884.			
Verdunstung pro 400 qcm Fläche	11186 ccm	14373 ccm	7198 ccm
Absickerung pro 400 qcm Querschnitt und 0,3 m Tiefe . . .	8888 „	5991 „	13256 „ .

Aus diesen Zahlen geht deutlich hervor, dass im Durchschnitt, also abgesehen von dem Gange der Bodenfeuchtigkeit, die Wirkungen der Verdunstung und der Durchlässigkeit sich insofern ausgleichen, als der stärkeren Verdunstung eine geringere Durchlässigkeit gegenübersteht und umgekehrt derart, dass die Summen der betreffenden Werthe gleich sind und somit die Wassercapacität in dem Feuchtigkeitsvorrath hauptsächlich zum Ausdruck gelangen kann.

Bei Beurtheilung der einschlägigen Verhältnisse ist schliesslich der Umstand nicht ausser Acht zu lassen, dass bei einer und derselben Bodenart die Feuchtigkeitsverhältnisse von der Korngrösse beherrscht werden[1]). Der Torf, welcher in den mitgetheilten Versuchen im grobpulverigen Zustande benutzt wurde, würde einen grösseren Wassergehalt aufgewiesen haben, wenn er aus feinen Elementen zusammengesetzt gewesen wäre. Ebenso würde der reine Thon, der mit den feinsten Bodenpartikeln versehen ist, ein höheres Wasseraufspeicherungsvermögen gezeigt haben als der an seiner Stelle verwendete Lehm. Auch bei dem Quarzsande ist mit Sicherheit anzunehmen, dass bei feinerer Körnung die Ergebnisse sich etwas anders gestaltet hätten. Nach alledem kann es keinem Zweifel unterliegen, dass bei jeder Bodenart der mechanische Zustand mit in Betracht zu ziehen ist, wenn man sich ein richtiges Bild von deren Verhalten dem Wasser gegenüber machen will. Die bezüglichen Unterschiede werden zwar alsdann im concreten Fall absolut zum Theil

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVI. 1893. S. 384.

anders ausfallen als in den vorliegenden Untersuchungen, aber sie werden relativ jedenfalls in derselben Weise in die Erscheinung treten, weil wie anderwärts nachgewiesen wurde, Thon und Humus unter allen Umständen mehr Wasser aufzunehmen vermögen als der Quarzsand.

f) Die Bedeckung des Bodens mit lebenden Pflanzen ist, wie oben (S. 168) ausführlicher nachgewiesen wurde, mit einer beträchtlichen Wasserentnahme verknüpft, und zwar wächst diese in dem Grade, als die Pflanzen sich üppiger entwickelt haben und die äusseren Umstände für die Verdunstung günstig sind. Aus diesem Grunde kann während der wärmeren Jahreszeit bei dem längeren Ausbleiben von Niederschlägen die Bodenfeuchtigkeit in den Humusböden bis in grössere Tiefen auf ein für das Wachsthum der Pflanzen nachtheiliges Maass herabgedrückt werden, um so leichter, als der Feuchtigkeitsgrad, bei welchem die Pflanzen überhaupt zu vegetiren resp. das Maximum des Ertrages zu liefern vermögen, bei dem Humus ungleich höher gelegen ist als bei den übrigen Bodenconstituenten. Verfasser[1]) hat dies durch Versuche festgestellt, in welchen ein und dieselbe Pflanze in drei in ihren physikalischen Eigenschaften von einander abweichenden Bodenarten (Quarzsand, Lehm und Torf) bei verschiedenen, aber bei einem für die einzelnen Materialien gleichen Wassergehalt cultivirt wurden. Der Verdunstungsverlust wurde täglich durch Aufgiessen von Wasser ersetzt, so dass der Boden in den einzelnen Töpfen während der ganzen Versuchszeit fast constant den weiterhin näher bezeichneten Feuchtigkeitsgehalt besass. Das Ergebniss war folgendes:

Sommerroggen.

Je 5 Pflanzen. Volumen des Bodens: 3550 ccm.

Wassergehalt des Bodens excl. hygroskop. Feuchtigkeit.		Torf.				Lehm.				Quarzsand.			
		Zahl der Körner.	Erntegewicht, gr.			Zahl der Körner.	Erntegewicht, gr.			Zahl der Körner.	Erntegewicht, gr.		
Vol. %	Absolut gr.		Körner.	Stroh.	Summa.		Körner.	Stroh.	Summa.		Körner.	Stroh.	Summa.
5	90	0	0,0	0,0	**0,0**	0	0,0	0,0	**0.0**	10	0,3	0,4	**0,7**
10	180	0	0,0	0,0	**0,0**	25	0,4	1,9	**2,3**	75	1,7	2,4	**4,1**
15	270	20	0,4	1,1	**1,5**	48	1,2	2.6	**3,8**	144	3,6	5,3	**8,9**
20	360	33	0,6	2,1	**2,7**	143	3,7	5,5	**9,2**	184	4.1	8,0	**12,1**
25	450	205	5,3	9,2	**14,5**	162	4,3	9,6	**13,9**	216	5,7	12,5	**18,2**
30	540	247	6,1	10,7	**16,8**	161	4,8	10,2	**15,0**	216	6,0	13,2	**19,2**
35	630	294	7,8	14,6	**22,4**	208	5,2	14,1	**19,3**	303	7,6	12,4	**20,0**
40	720	349	9.2	15,6	**24,8**	211	6,0	11,5	**17,5**	301	8,6	14,7	**23,3**
50	900	438	11,4	23,3	**34,7**	274	8,2	16,4	**24,6**	442	10,8	22,7	**33,5**
60	1080	464	12,6	25,9	**38,5**	336	9,3	18,2	**27,5**	317	9,3	16,0	**25,3**

Bei Durchsicht dieser Zahlen ergiebt sich zunächst deutlich, dass die Pflanzen im Quarzsande bereits bei einem Wassergehalt (5—15 Vol. %) zu vegetiren und zu pro-

---

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XV. 1892. S. 427.

duciren vermochten, der bei dem Lehm und Torf nicht einmal ausreichend war, um die Samen zum Keimen oder zu einer irgendwie in Betracht kommenden Entwickelung zu bringen. Auch bei 20, 25 und 30 Vol. % Feuchtigkeit befand sich der Sand bezüglich des Ertragsvermögens der Pflanzen im Vorsprung, im Vergleich zu den beiden anderen Bodenarten, und erst von einem Wassergehalt des Bodens von 35 Vol. % traten im Allgemeinen die entgegengesetzten Verhältnisse in den Ernten hervor. Bemerkenswerth ist ferner die aus den Ernteergebnissen hervorgehende Thatsache, dass bei dem Sande bei einem Wassergehalt von 60 % die Grenze schon überschritten war, bei welcher die Pflanzen das Maximum des Ertrages liefern, während in dem Lehm und Torf erst bei diesem Wasservorrath das höchste Productionsvermögen der betreffenden Gewächse unter den vorliegenden Bedingungen erreicht wurde. Ohne Weiteres wird aus derartigen Beobachtungen gefolgert werden müssen, dass die Pflanzen im Humus (Torf) resp. im Thon (Lehm) zur Entwickelung und zur Erzielung von Maximalarten eines höheren Wassergehaltes der Vegetationsschicht bedürfen, als unter sonst gleichen Verhältnissen im Quarzsande.

Zur Erklärung dieser Erscheinung ist vor Allem der Umstand zu berücksichtigen, dass den Kräften, durch welche die Pflanze mittelst ihrer Wurzeln dem Boden das Wasser entzieht (Osmose, Wasseranziehungsvermögen der Protoplasmen der Wurzelzellen u. s. w.), solche seitens des Bodens je nach dessen mechanischer Zusammensetzung gegenüberstehen (Attraction seitens der Bodenelemente, Capillarität u. s. w.) und dass demgemäss die in divergirender Richtung unter natürlichen Verhältnissen eintretenden Wechselwirkungen zwischen diesen Kräften verschieden sein müssen, je nach der Energie, mit welcher das Wasser vom Boden festgehalten wird. Da nun diese Kräfte, wie aus obigen Mittheilungen über die diesbezüglichen Eigenschaften der Bodenarten zur Genüge hervorgeht, in dem Humus und Thon weit beträchtlicher sind als in dem Quarzsande, so werden bei jenen Bodenarten bei der Entnahme des Wassers seitens der Pflanzenwurzeln ungleich grössere Widerstände sich darbieten als bei letzterer. Diese Thatsache ist bei der Entwässerung nasser Humusböden, wie später gezeigt werden soll, ganz besonders in Betracht zu ziehen, wenn die betreffenden Arbeiten rationell ausgeführt werden sollen.

Die durch die Pflanzen bewirkte Austrocknung hat auf reinen Humusböden (Moorböden) nicht allein den Nachtheil, dass durch dieselbe die Bodenfeuchtigkeit auf ein für die Entwickelung der Pflanzen unzureichendes Maass unter gewissen Umständen herabgedrückt wird, sondern kann auch dadurch von schädlicher Wirkung sich erweisen, dass der bis in grössere Tiefen stark ausgetrocknete Boden wegen der Nichtbenetzbarkeit bei dem Eintritt ergiebiger Niederschläge in diesem ungünstigen Zustande verharrt, denn das Wasser wird in diesem Falle durch die grösseren Hohlräume mit grosser Geschwindigkeit abwärts geführt, ohne den Boden zu durchfeuchten. Aus diesem Grunde sind bei der Entwässerung der in Rede stehenden Bodenarten Vorkehrungen zu treffen, welche es ermöglichen, die Feuchtigkeit dem Boden innerhalb gewisser Grenzen zu erhalten.

3. Das Verhalten der Humusstoffe zur Luft und zu Gasen.

a) Die Luftcapacität (Porosität) wird durch das Verhältniss zwischen dem Volumen der im Boden enthaltenen Hohlräume (Poren) zum Gesammtvolumen (= 100)

ausgedrückt. Das Porenvolumen schwankt bei dem Humus innerhalb weiter Grenzen und zwar bei trockener Beschaffenheit zwischen 60—85%. Im Vergleich zu den übrigen Bodenconstituenten besitzt der Humus die grösste Luftcapacität im lufttrockenen Zustande, wie dies z. B. den diesbezüglichen Untersuchungen von *A. von Schwarz*[1]) zu entnehmen ist.

Die Luftcapacität in Vol. % betrug:

Moor.	Thon.	Lehm.	Sand.
84,0	52,7	45,1	39,4.

Die mit pulverförmigen Materialien angestellten Versuche des Verfassers[2]) lieferten folgendes Resultat:

Torf.	Thon.	Lehm.	Quarzsand.
72,38	57,26	52,99	41,50.

Die angegebenen Schwankungen sind bedingt durch Verschiedenheiten in der mechanischen Beschaffenheit der Humussubstanzen. Es ist daher die Luftcapacität sowohl von den Eigenschaften der humusbildenden Pflanzen und Pflanzentheile, als auch von dem Zersetzungsgrade und der Dichtheit der Masse abhängig. Aus Sphagnum gebildeter Hochmoortorf ist beispielsweise poröser als der Torf aus Grünlandsmooren. Mit fortschreitender Zersetzung nimmt das Volumen der luftführenden Hohlräume ab in dem Maasse, als die Substanzen in den amorphen Zustand übergehen. Lockerung der Masse erhöht das Porenvolumen derselben in beträchtlichem Grade, während das Zusammenpressen derselben die entgegengesetzte Wirkung ausübt.

Mit der Zunahme des Wassergehaltes vermindert sich naturgemäss die Luftcapacität und gerade bei dem Humus, der, wie gezeigt, bedeutende Wassermengen aufzuspeichern vermag, in beträchtlichem Grade. Dies lässt sich u. a. aus folgenden Zahlen ersehen, welche den oben citirten Versuchen des Verfassers entnommen sind.

	Luftcapacität in Vol. %		
	Lufttrocken.	Kleinste Wassercapacität.	Grösste Wassercapacität.
Torf	72,38	29,37	0,0.

Das Porenvolumen des Humus nimmt mithin mit zunehmendem Wassergehalt ab und sinkt auf Null, wenn die Substanz mit Wasser gesättigt ist.

b) Die Permeabilität für Luft wird nach den Luftmengen bemessen, die unter sonst gleichen Verhältnissen durch den Boden hindurchgehen. Nach den Untersuchungen des Verfassers[3]) liessen sich in Bezug hierauf bei den verschiedenen Bodenconstituenten im lufttrockenen Zustande folgende Unterschiede nachweisen und zwar bei einer Höhe der Bodenschicht von 50 cm und einem Durchmesser derselben von 5 cm, sowie bei einem Druck von 100 mm Wasser:

---

[1]) *A. von Schwarz.* Erster Bericht über Arbeiten der k. k. landwirthschaftlich-chemischen Versuchsstation in Wien aus den Jahren 1870—1877. Wien. 1878. S. 51.

[2]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VIII. 1885. S. 369 u. 370.

[3]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. XVI. 1893. S. 202.

		Geförderte Luftmenge in Litern pro Stunde.
Kaolin		0,175
Quarzsand	0,01—0,071 mm	0,390
„	0,071—0,114 „	7,050
„	0,114—0,171 „	15,425
„	0,171—0,250 „	28,000
„	0,25 —0,50 „	71,650
„	0,01 —2,00 „	3,400
Torf		32,740.

Aus diesen Daten lässt sich folgern, dass der lufttrockene Humus im Vergleich zu den mineralischen Bodenconstituenten eine sehr bedeutende Permeabilität für Luft besitzt, welche derjenigen der gröberen Sandsorten sehr nahe steht.

Für die durch den Boden durchgehenden Luftmengen erweist sich der Wasservorrath von hervorragendem Einfluss, was sich aus folgenden Zahlen deutlich genug ergiebt. Die Höhe der Erdschicht betrug 50 cm, der Durchmesser derselben 5 cm. Bei einem Druck der Luft, entsprechend einer Wassersäule von 50 mm, gingen durch den Boden folgende

	Luftmengen in Litern pro Stunde					
bei einem Wassergehalt von	0	8,15	16,30	24,45	32,60	40,75 Vol. %
Oldenburger Torf, pulverförmig	**16,37**	**7,86**	**4,25**	**1,14**	**0,03**	**0,00.**

Die Permeabilität nimmt mithin mit wachsendem Feuchtigkeitsgehalt des Humus ab und sinkt bereits auf Null bei einem Wassergehalt herab, der vom Sättigungspunkt noch ziemlich weit gelegen ist, denn der Torf vermochte unter den vorliegenden Versuchsbedingungen etwa 60 bis 70 Vol. % Wasser zu fassen.

Die Verminderung der geförderten Luftmengen mit steigendem Wassergehalt des Bodens erklärt sich in einfacher Weise aus dem Umstande, dass in dem gleichen Grade die Poren des Bodens sich mit Wasser füllen und ausserdem sich in Folge des Aufquellens der colloïdalen Elemente verkleinern.

Die Durchlüftbarkeit hängt sonst noch von der Abstammung, dem Grade der Zersetzung und der Dichte der Humusstoffe ab. Der Torf aus Sphagnummoosen, sowie im unzersetzten Zustande oder bei lockerer Beschaffenheit ist permeabler für Luft als jener der Grünlandsmoore resp. bei starker Humification oder dichter Lagerung der Theilchen.

c) Die Diffusion der Gase aus dem Boden. Die Poren des Bodens enthalten neben atmosphärischer Luft und Wasserdampf verschiedene Gase, unter welchen die Kohlensäure das wichtigste ist, insofern es gegenüber den anderen in grösster Menge in der Bodenluft auftritt. Die Kohlensäure rührt vornehmlich aus der Zersetzung der organischen Stoffe her und kommt je nach dem Verlauf der bezüglichen Processe und dem Reichthum des Erdreiches an humosen Substanzen zwar in verschiedener, aber stets in ungleich grösserer Menge als in der Atmosphäre vor. In Rücksicht auf letzteren Umstand bietet die Erscheinung nichts Befremdendes, dass auch ohne äussere Veranlassung eine lediglich durch Diffusion, d. h. durch Ausgleich

des eingeschlossenen Gases mit dem der Atmosphäre hervorgerufene Bewegung der Bodenluft stattfindet.

Die Diffusion der Kohlensäure, sowie auch des Ammoniaks und der übrigen etwa in Betracht kommenden Gase aus dem Boden ist bei constanter Temperatur hauptsächlich von der Summe der Poren des Querschnittes und nicht von deren Grösse abhängig.[1]) Daher sind die absoluten Mengen des diffundirten Gases um so grösser, je grösser das Gesammtporenvolumen ist, und vice versa. Jede Verminderung des Porenvolumens, wie solche durch Verdichtung des Bodens oder einen mehr oder weniger hohen Feuchtigkeitsgehalt bedingt ist, hat eine Abnahme der geförderten Gasmenge zur Folge.

Hinsichtlich des Verhaltens des Humus wird auf Grund dieser allgemeinen Gesetzmässigkeiten und im Zusammenhalt mit den Beobachtungen über die Porosität dieses Bodenconstituenten geschlossen werden dürfen, dass derselbe im lufttrockenen Zustande der Diffussion der Gase wesentlich Vorschub leistet, dagegen bei feuchter und noch mehr bei nasser Beschaffenheit diesem Vorgang bedeutende Hindernisse entgegenstellt.

d) Das Adsorptionsvermögen (Absorptions- oder Condensationsvermögen) *des Bodens für Gase* bezeichnet eine moleculare Erscheinung und umfasst in diesem Sinne alle jene ursächlichen Momente, welche ein Zurückhalten von Gasmolecülen an und in festen Körpern bewerkstelligen. Nur dem Sprachgebrauch nach unterscheidet man zwischen Hygroskopicität und Gasadsorption (Adsorption im engeren Sinne), welche im Grunde identische Erscheinungen sind.

In dem Betracht, dass die humosen Stoffe mit einer ausserordentlichen Porosität ausgestattet sind und in Folge dessen den Gasen eine sehr grosse Oberfläche darbieten, wird schon im Voraus angenommen werden können, dass ihr Vermögen, die Gase zu verdichten, mit denen sie in Berührung kommen, einen hohen Intensitätsgrad erreichen wird. In der That ist dies der Fall, wie die zahlreichen einschlägigen Untersuchungen[2]) dargethan haben.

Die *Hygroskopicität* oder das Adsorptionsvermögen für das in Dampfform in der Luft enthaltene Wasser ist bei den Humusstoffen sehr beträchtlich, wie folgende von *A. von Dobeneck* ausgeführte Versuche beispielsweise nachgewiesen haben:

Bei 0° und 760 mm Barometerstand adsorbiren 100 gr Boden Wassergas aus gesättigter Luft:

	Quarz.	Kohlensaurer Kalk.	Kaolin.	Eisenoxydhydrat.	Humus.
	0,159 gr	0,224 gr	2,558 gr	15,512 gr	15,904 gr
oder	197 ccm	278 ccm	3172 ccm	19236 ccm	19722 ccm.

Hiernach übertrifft der Humus, mit Ausnahme des Eisenoxydhydrates, alle mineralischen Bodenconstituenten in Bezug auf die Aufnahme hygroskopischen Wassers um ein sehr Bedeutendes. Im speciellen Fall ist die Adsorptionsgrösse sowohl von äusseren Einwirkungen, als auch von der Beschaffenheit der Substanz abhängig und schwankt daher innerhalb gewisser Grenzen. Die Hygroskopicität nimmt mit steigender Temperatur annähernd im Ver-

[1]) *F. Hannén.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XV. 1892. S. 6.

[2]) *G. Ammon.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. II. 1879. S. 1. — *A. v. Dobeneck.* Ebenda. Bd. XV. 1892. S. 163.

hältniss des reciproken Werthes der Tension ab. Bei Entnahme des Wassergases aus damit gesättigter Luft wird diese Gesetzmässigkeit nur dadurch modificirt, dass mit der Temperatur zugleich der absolute Wassergehalt erhöht wird. In diesem Fall wird der Einfluss der Temperatur durch den steigenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft nahezu ausgeglichen. Bleibt aber der absolute Wassergehalt der Luft auch bei schwellenden Temperaturen constant, so behält das angeführte Gesetz über den Einfluss der Temperatur seine volle Giltigkeit. Bei gleichbleibender Temperatur steigt die Hygroskopicitätsgrösse mit dem relativen Luftfeuchtigkeitsgehalte.

Der Einfluss der Beschaffenheit der Substanz auf die von derselben adsorbirten Feuchtigkeitsmengen macht sich in der Weise geltend, dass die Hygroskopicität zunimmt in dem Grade, als die Substanz poröser und lockerer ist. Daher besitzt der aus Sphagnummoosen gebildete Torf in der Regel ein grösseres Adsorptionsvermögen als jener der Grünlandsmoore, und nimmt die adsorbirte Wassermenge in dem Maasse ab, je weiter die Zersetzung vorgeschritten ist. Ferner ist bei dichter Lagerung die verdichtete Feuchtigkeitsmenge geringer als bei lockerer. Schliesslich üben auch gewisse Nebenbestandtheile einen Einfluss auf die Hygroskopicität aus, unter welchen besonders das Eisen-, Kieselsäure- und Thonerdehydrat insofern eine wichtige Rolle spielen, als mit der Menge derselben unter übrigens gleichen Umständen die Adsorption des Wasserdampfes wächst.[1]) In gleicher Weise wirken einige Salze, die begierig den Wasserdampf condensiren und in dem aufgenommenen Wasser zerfliessen, wie man z. B. bei einem eisenoxydul- oder epsomithaltigen[2]) Torf beobachten kann.[3])

Unter den geschilderten Verhältnissen wird die Thatsache begreiflich, dass der Humus im lufttrockenen Zustande sehr verschiedene Mengen von hygroskopischem Wasser enthält und in dieser Beziehung je nach äusseren Umständen ein sehr wechselndes Verhalten zeigt. Nach *F. Sitensky*[4]) schwankt der Gehalt verschiedener Torfsorten aus den böhmischen Mooren zwischen 4,45—15,14% und kann nach *A. von Schwarz* bis auf 21,6% steigen.

In Bezug auf die Bedeutung der Hygroskopicität für die Pflanzenvegetation ist vielfach die Anschauung geltend gemacht worden, dass auf diesem Wege die Pflanzen mit Wasser versorgt und besonders in Trockenperioden am Leben erhalten würden. Es lässt sich indessen eine Reihe von Gründen anführen, welche eine derartige Annahme als hinfällig erscheinen lassen. Zunächst spricht dagegen der Umstand, dass der durch die Adsorption verdichtete Wasserdampf, weil nicht tropfbar flüssig, von den Pflanzenwurzeln nicht aufgenommen werden kann. Dies wäre nur dann möglich, wenn das hygroskopische Wasser bei gesättigter Atmosphäre in Folge einer starken Temperaturerniedrigung verflüssigt würde. Fälle solcher Art treten in der Natur selten ein und zwar nur auf dem nackten Boden während der Nacht bei stärkerer Ausstrahlung, während unter den Pflanzen die Temperatur des Bodens unter diesen Umständen eine Verminderung, wie solche zum Flüssigwerden des condensirten Wassers erforderlich ist, nicht erfährt[5]). Ueberdies erstreckt sich die

[1]) *E. W. Hilgard.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVIII. 1895. S. 351.

[2]) Epsomit, natürliches Bittersalz.

[3]) *F. Sitensky.* a. a. O. S. 201.

[4]) a. a. O. S. 208—211.

[5]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XV. 1892. S. 111.

Adsorption des Wasserdampfes, wie *S. Sikorski*[1]) nachgewiesen hat, nur auf die obersten zu Tage tretenden Bodenschichten (3—5 cm) und wird das während der Nacht von diesen aufgenommene Wasser am Tage bei steigender Temperatur und Abnahme der Luftfeuchtigkeit wieder an die Atmosphäre abgegeben.

Lassen nun schon die angeführten Momente deutlich erkennen, dass die Annahme einer nützlichen Wirkung der Hygroscopicität des Bodens bezüglich des Pflanzenlebens mit den thatsächlichen Verhältnissen nicht in Uebereinstimmung zu bringen ist, so gelangt man mit Sicherheit zu dieser Ueberzeugung, wenn man die Umstände näher in Betracht zieht, unter welchen überhaupt die Adsorption des Wasserdampfes zu Stande kommt, sowie das Minimum von Wasser, bei welchem die Pflanzen noch existenzfähig sind. Offenbar kann erst dann eine Condensation von Wasserdampf eintreten, wenn alles flüssige Wasser aus dem Boden verschwunden und dieser in den lufttrockenen Zustand übergegangen ist. Bei solcher Beschaffenheit des Erdreiches sind aber die Pflanzen nicht im Stande, sich am Leben zu erhalten, wie sich auch andererseits schon aus der von *R. Heinrich*, *A. Mayer* u. A. ermittelten Thatsache ergiebt, dass die Pflanzen bereits bei einem Wassergehalt des Bodens zu welken beginnen, der beträchtlich über der Grenze liegt, bei welcher die Hygroskopicität überhaupt erst in die Erscheinung tritt. Dafür sprechen auch die Ergebnisse des oben (S. 253) angeführten Versuchs des Verfassers, welche deutlich zeigen, dass z. B. in dem Humus eine Vegetation erst möglich war, wenn dem lufttrockenen, also hygroskopisch gesättigten Boden dem Volumen nach 15 % Wasser zugeführt wurden. Ganz abgesehen hiervon würde aber die durch Hygroskopicität bewirkte Wasserzufuhr für die Vegetation schon aus dem Grunde ohne Bedeutung sein, als sie einerseits im Vergleich zum Wasserbedürfniss der Pflanzen selbst im günstigsten Fall verschwindend klein ist (0,4 mm Wasserhöhe bei dem Humus) und andererseits gerade in Trockenperioden, in welchen eine derartige Anfeuchtung wenn überhaupt einen Nutzen gewähren könnte, das Verdichtungsvermögen des Erdreiches in Folge des niedrigen Luftfeuchtigkeitsgehaltes und der herrschenden hohen Temperatur nicht allein bedeutend vermindert ist, sondern sogar noch von dem in der vorhergehenden Periode condensirten Wasser unter letzteren Verhältnissen beträchtliche Mengen an die Atmosphäre abgegeben werden. Nach alledem erscheint es gerechtfertigt, die Hygroskopicität, soweit die Wasserversorgung der Pflanzen dabei in Betracht kommt, endgültig aus der Reihe der nützlichen Bodeneigenschaften zu streichen.

Wie die Adsorption von Wasserdampf, so ist auch jene von Gasen, ***die Gasadsorption im engeren Sinne,*** seitens der Humusstoffe im Allgemeinen eine sehr beträchtliche. Für Ammoniak und Kohlensäure wurden von *A. von Dobeneck* folgende Daten ermittelt:

Bei 0° und 760 mm Barometerstand adsorbiren 100 gr Boden:

	Quarz.	Kohlensaurer Kalk.	Kaolin.	Eisenoxydhydrat.	Humus.
Ammoniak	0,107 gr	0,256 gr	0,721 gr	4,004 gr	18,452 gr
	145 ccm	320 ccm	947 ccm	5275 ccm	24228 ccm.
Kohlensäure	0,023 gr	0,028 gr	0,329 gr	6,975 gr	2,501 gr
	12 ccm	14 ccm	166 ccm	3526 ccm	1264 ccm.

[1]) *S. Sikorski.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. IX. 1886. S. 413.

Vergleicht man die durch die Bodenarten aufgenommenen Gasmengen, so ergiebt sich, dass der Humus, nächstdem das Eisenoxydhydrat das grösste, Quarz und kohlensaurer Kalk das geringste Aneignungsvermögen für Ammoniak besitzen und der Kaolin sich in Bezug hierauf in der Mitte dieser beiden Gruppen bewegt. Für Kohlensäure ist das Adsorptionsvermögen der Böden weit geringer als für Ammoniak, doch bleibt die Reihenfolge der Constituenten dieselbe mit Ausnahme des Eisenoxydhydrates, welches mit Humus seinen Platz vertauscht.

Die Adsorption von Sumpfgas (CH_4) und Schwefelwasserstoff war nach den Untersuchungen von *G. Ammon* eine sehr intensive, besonders bei dem Eisenoxydhydrat und nächstdem bei dem Humus, während die übrigen Bodenconstituenten in dieser Beziehung wesentlich zurücktraten. Bei Zusammenfassung dieser Thatsachen wird gesagt werden können, dass die Humusstoffe mit einem besonders starken Adsorptionsvermögen für Ammoniak, Sumpfgas und Schwefelwasserstoff ausgezeichnet sind, und nur bezüglich der letzten beiden Gase von dem Eisenoxydhydrat übertroffen werden.

Die im Bisherigen entwickelten Gesetzmässigkeiten haben nur Giltigkeit für die vollständig trockene und wahrscheinlich auch für die lufttrockene Substanz. Es erübrigt daher noch der Frage näher zu treten, inwieweit die betreffenden Erscheinungen eine Abänderung erleiden, wenn das Material durchfeuchtet ist. Die bezüglichen Versuche von *A. von Dobeneck* ergaben, dass die an sich verhältnissmässig schwache Kohlensäureadsorption des trockenen Bodens auf ein Minimum herabgedrückt wird, wenn derselbe sich im feuchten Zustande befindet, dass dagegen die Aufnahme von Ammoniak durch die Anfeuchtung des Materials in ausserordentlichem Grade gesteigert wird. Dies weisen folgende Zahlen nach:

Bei 20° C. adsorbiren 100 gr Boden.

	Quarz.	Kohlensaurer Kalk.	Kaolin.	Eisenoxydhydrat.	Humus.
Trocken	0,055 gr	0,130 gr	0,422 gr	2,649 gr	10,515 gr
Feucht	12,21 „	12,28 „	11,79 „	23,53 „	38,85 „.

Im feuchten Zustande der Substanzen war sonach die aufgenommene Gasmenge eine bedeutend grössere als im trockenen. Auch in diesem Falle stand der Humus allen übrigen Bodenconstituenten voran. Der Einfluss, den hier das Wasser ausübt, besteht hauptsächlich darin, dass das Ammoniakgas von der Flüssigkeit absorbirt wird. In dem feuchten Material tritt mithin an die Stelle der durch physikalische resp. chemische Kräfte bedingten Adsorption die Absorption des Gases im Bodenwasser.

4. *Das Verhalten der Humusstoffe zur Wärme.*

Als Wärmequellen für den Boden kommen in Betracht: die Wärme in Folge chemischer Processe oder von Adsorption von Gasen, die innere Erdwärme und die Sonnenwärme.

Die durch Verwesung (Eremakausis) der organischen Stoffe entstehende Wärmemenge ist, wie bereits oben (S. 6) nachgewiesen wurde, nicht ausreichend, eine erheblichere Temperatursteigerung des Bodens zu bewirken. Nur in grösseren Massen angehäufte, leicht zersetzbare organische Stoffe (wie z. B. Pferdedünger, angewelkte grüne Pflanzen, angefeuchtete trockene Pflanzentheile) weisen an sich bei den Zersetzungsvorgängen eine bedeutende Temperatursteigerung auf, welche, wie

z. B. bei der Cultur der Pflanzen in Mistbeeten oder bei dem Trocknen der Futtergewächse (Braunheubereitung) von Nutzen sein kann.

Soweit die thermischen Verhältnisse des Bodens in Betracht kommen, ist die bei der Zufuhr von Wasser oder bei der Adsorption von Gasen und Wasserdampf entwickelte Wärme von noch geringerer Bedeutung, als die bei der Verwesung erzeugte, wenngleich dieselbe momentan eine ziemlich beträchtliche sein kann, besonders bei den Humusstoffen, die in dieser Beziehung alle übrigen Bodenconstituenten weit übertreffen. So betrug z. B. in den Versuchen von *A. Stellwaag*[1]) die

Bodenconstituenten.	Temperaturerhöhung des lufttrockenen Materials bei der Adsorption von Wasserdampf (bei + 30° C).	Ammoniak (bei + 12° C.).
Quarzsand (feinpulverig) . .	1,08° C.	0,80° C.
Kohlensauerer Kalk	1,47 „	0,80 „
Kaolin	2,63 „	2,50 „
Eisenoxydhydrat	9,30 „	18,05 „
Humus (Torf)	12,25 „	28,30 „ .

Die bei der Adsorption von Wasserdampf und Gasen frei werdende Wärme kann hiernach, namentlich bei dem Humus, sehr beträchtlich sein; gleichwohl ist ihre Wirkung auf den Boden in der Natur eine höchst geringfügige, weil die betreffenden Vorgänge nicht von fortdauernder Wirkung sind und nur sehr selten die Bedingungen eintreffen, an welche jene Verdichtungsprocesse geknüpft sind.

Durch die innere Erdwärme kommt dem Boden wegen der ungünstigen Wärmeleitungsverhältnisse der Erdkruste nur eine verschwindende Wärmemenge zu Gute. Dazu kommt, dass die geringfügige Wärmequelle für alle Böden nahezu gleich ist.

Aus den angeführten Thatsachen folgt, dass die in der Natur beobachteten Unterschiede in der Bodenerwärmung nur durch die Sonnenwärme hervorgerufen werden können, da andere Quellen als die bezeichneten nicht vorhanden sind. Zum Verständniss der einschlägigen ziemlich complicirten Erscheinungen bedarf es vorerst einer Darlegung der einzelnen hierbei in Betracht zu ziehenden Momente.

a) Das Absorptions- und Emissionsvermögen des Bodens für die Wärmestrahlen. Hinsichtlich des Absorptionsvermögens des Bodens für die eigentlichen Wärmestrahlen, d. h. für die unsichtbaren ultrarothen Strahlen des Sonnenspectrums, liegen keine Versuche vor; über die Absorption der leuchtenden Strahlen belehrt die Farbe. Man kann daher sagen, dass unter der Voraussetzung des gleichen Verhaltens der dunklen Strahlen, die Böden bei gleicher Wärmecapacität sich um so stärker erwärmen werden, je dunkler ihre Farbe ist. Bei dem Humus wird daher die Absorption der Sonnenstrahlen in Ansehung seiner Farbe eine sehr starke sein müssen, was in der That der Fall ist. Bei ungehinderter Insolation kann in Folge der Absorption die Temperatur an der Oberfläche eines Humusbodens bis zu 10° und darüber höher steigen, als an jener der heller gefärbten Mineralböden, und unter Umständen die Höhe von 50—60° C. erreichen.

Hinsichtlich des Emissionsvermögens des Bodens für die Wärmestrahlen kann die Farbe keinen Aufschluss geben; das *Kirchhoff*'sche Gesetz sagt zwar, dass das Verhältniss zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen aller Körper dasselbe

[1]) *A. Stellwaag.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. V. 1882. S. 210.

ist, aber nur für Strahlen gleicher Wellenlänge bei derselben Temperatur. Die Böden nehmen indessen unter dem Einfluss der Insolation ein Gemisch von Strahlen jeder Brechbarkeit und Temperatur auf, geben aber immer nur Strahlen geringer Brechbarkeit und Temperatur von sich. Es werden sonach andere Strahlen aufgenommen, als abgegeben werden, eine Erscheinung, aus welcher folgt, dass von dem Absorptionsvermögen nicht ohne Weiteres auf das Emissionsvermögen des Bodens geschlossen werden darf *(A. von Liebenberg)*.

Soweit sich die einschlägigen Verhältnisse auf Grund der bisher angestellten Versuche[1]) überblicken lassen, kann zur Zeit angenommen werden, dass die Farbe des Bodens keinen Einfluss auf die Emission der Wärmestrahlen ausübt, und dass die Unterschiede in dem Strahlungsvermögen der verschiedenen Bodenconstituenten verhältnissmässig gering sind. Setzt man die Strahlung des Kienrusses = 100, so ist nach *J. Ahr*[1]) jene der Bodengemengtheile:

Quarz.	Kaolin.	Humus.
96,5	91,5	98,8.

Hiernach ist im völlig wasserfreien Zustande der Humus unter den Bodenconstituenten der am schlechtesten strahlende Körper, dann folgt der Thon (Kaolin), während der Quarz das grösste Strahlungsvermögen aufweist. Berücksichtigt man jedoch, dass in diesen Versuchen der mittlere wahrscheinliche Fehler + 1,4 betrug, und dass in den gemischten Böden die betreffenden Werthe sehr genähert sind, so gelangt man zu dem Schluss, dass die in dem Strahlungsvermögen der verschiedenen Böden hervortretenden Differenzen nicht sehr bedeutend sind. Da das Wasser ein besseres Ausstrahlungsvermögen als alle Bodenbestandtheile besitzt, so wirkt der Wassergehalt erhöhend auf die Strahlung bei einer und derselben Bodenart ein, vermindert aber auch gleichzeitig bei den verschiedenen Böden die im trockenen Zustande nach dieser Richtung bestehenden Unterschiede in dem Maasse, als es in grösseren Mengen vorhanden ist.

b) Der Wärmeverbrauch durch Verdunstung an der Oberfläche des Bodens. Die vom Boden empfangene Sonnenwärme geht zum Theil dadurch für die Erwärmung der tieferen Schichten verloren, als durch die Verdunstung Wärme gebunden wird. Dieser Wärmeverlust steigt und fällt demnach mit der Verdunstungsgrösse und hat eine entsprechende Temperaturerniedrigung des Bodens zur Folge. Letztere lässt sich durch einen Vergleich der Temperaturen in der Oberfläche des nassen mit dem feuchten resp. lufttrockenen Boden annähernd ermessen. Folgende, aus Beobachtungen des Verfassers[2]) entlehnte Zahlen mögen zur Illustration dieser Verhältnisse hier eine Stelle finden.

	Mittlere Lufttemperatur (° C.).	Mittlere Temperatur des Bodens in der Oberfläche (°C.). Torf.	
		Nass.	Feucht.
15. Juni bis 23. Juni 1875	16,69	16,83	17,43.
		Nass.	Lufttrocken.
2. Juli bis 9. Juli 1875	19,73	22,11	24,63.

Die Oberfläche des Bodens erwärmt sich also unter sonst gleichen Verhältnissen um so stärker, je geringer der Wasservorrath ist, und umgekehrt.

[1]) *J. Ahr.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVII. 1894. S. 397.
[2]) *E. Wollny.* Landwirthschaftliche Jahrbücher. Bd. V. 1876. S. 441—468.

c) Die Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens. Die von den oberflächlichen Schichten aufgenommene Wärme wird den tieferen durch Leitung mitgetheilt. Die zwischen den oberen und tiefer liegenden Bodenschichten bestehenden Temperaturdifferenzen suchen sich auszugleichen, aber selbstverständlich ist dazu eine gewisse Zeit erforderlich, und dieser Umstand erklärt eine Reihe von Erscheinungen, welche man bei dem Studium der thermischen Verhältnisse des Bodens beobachtet.

Die Bewegung der Wärme erfolgt sowohl von oben nach unten, als auch umgekehrt in dem Humus am langsamsten, in dem Quarz am schnellsten und geht im Thon mit mittlerer Geschwindigkeit vor sich. So betrug, wie *F. Wagner*[1]) nachgewiesen hat, die mittlere Temperaturzunahme in einer 24 cm langen Bodensäule von 10 cm Durchmesser unter sonst gleichen Verhältnissen, wenn jene in dem Quarz = 100 gesetzt wird:

Humus.	Thon.	Quarz.
80,6	84,5	100,0.

Die Wärmeleitungsfähigkeit ist bei einer und derselben Bodenart um so grösser, je dichter die Bodentheilchen aneinander gelagert sind. Die betreffenden Unterschiede fallen in der Regel um so höher aus, je grösser gleichzeitig der Wassergehalt der Masse ist. Das Wasser steigert überhaupt die Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens meist in einem ziemlich beträchtlichen Grade, und zwar um so erheblicher, je grösser der Feuchtigkeitsgehalt und je besser an sich die Wärmeleitungsfähigkeit des Materials ist, und vice versa. Aus letzterem Grunde ist der Einfluss des Wassers auf die Wärmeleitung des Humus ein ungleich geringerer als auf jene der Mineralböden, besonders des Quarzsandes[2]).

d) Die Wärmecapacität (specifische Wärme) des Bodens wird am zweckmässigsten, in gleicher Weise wie die Wassercapacität, auf das Volumen bezogen[3]) und durch die Anzahl von Wärmeeinheiten ausgedrückt, welche erforderlich sind, die Temperatur eines bestimmten Volumen des Bodens im Vergleich zu einem gleich grossen Volumen Wasser — die specifische Wärme des letzteren gleich 1 gesetzt — um 1° zu erhöhen. Die specifische Wärme der Böden im trockenen Zustande beträgt nur ca. $^1/_6 - ^1/_3$ derjenigen des Wassers. Von den verschiedenen Bodenconstituenten besitzt der Humus die kleinste, der Quarz die höchste und der Thon eine mittlere Wärmecapacität wie folgende von *R. Ulrich*[4]) gewonnene Daten nachweisen:

Wärmecapacität, bezogen auf das Volumen.

Humus.	Thon.	Quarz.
0,1647	0,2333	0,2919.

Mit der Zunahme des Wassergehaltes nimmt nothwendigerweise die specifische Wärme des Bodens zu. Sie ist daher bei einer und derselben Bodenart um so grösser, je grösser deren Adsorptionsvermögen für Wasserdampf und deren Wasser-

---

[1]) *F. Wagner.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VI. 1883. S. 1. —. Ferner: *E. Pott.* Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. Bd. XX. 1877. S. 273 u. 321.

[2]) Vergl. *E. Pott.* a. a. O. S. 339.

[3]) *A. von Liebenberg.* Untersuchungen über die Bodenwärme. Habilitationsschrift. Halle. 1875. S. 13—25.

[4]) *R. Ulrich.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVII. 1894. S. 1.

capacität sind. Dafür sprechen deutlich folgende von vorbezeichnetem Autor berechnete Zahlen:

Feuchtigkeitsgehalt des Materials.		Wärmecapacität, bezogen auf das Volumen.		
		Humus.	Thon.	Quarz.
Völlig trocken		0,1647	0,2333	0,2919
Lufttrocken		0,1967	0,2627	0,2962
10 %	der grössten Wasser-capacität	0,2427	0,2945	0,3300
20 „		0,3207	0,3558	0,3682
30 „		0,3987	0,4170	0,4063
40 „		0,4767	0,4783	0,4445
50 „		0,5548	0,5395	0,4826
60 „		0,6328	0,6008	0,5208
70 „		0,7108	0,6620	0,5589
80 „		0,7888	0,7233	0,5972
90 „		0,8669	0,7812	0,6353
100 „		0,9449	0,8458	0,6735.

Die Wärmecapacität ist demnach bei höheren Feuchtigkeitsgraden und bei gleicher relativer Sättigung mit Wasser bei dem Humus am grössten, dann folgt der Thon, während der Quarz die kleinste specifische Wärme besitzt. Weiters wäre noch anzuführen, dass die specifische Wärme bei einer und derselben Bodenart in dem Grade wächst, als das Gefüge ein dichteres ist.

e) Gesammtwirkung der Factoren der Bodentemperatur. Die unter bestimmten Verhältnissen beobachtete Bodentemperatur rührt, soweit dieselbe von der mechanischen Zusammensetzung abhängig ist, aus der Gesammtwirkung der geschilderten Factoren her. Die im Boden selbst liegenden Einflüsse stehen in so mannigfachen Wechselbeziehungen zu einander, dass sich mit Hülfe von Durchschnittszahlen aus Beobachtungen über längere Zeiträume kein zutreffendes Bild von den bezüglichen Besonderheiten der verschiedenen Böden gewinnen lässt und deshalb vornehmlich nur die relativen Unterschiede in den einzelnen Perioden mit wechselnden äusseren Temperaturen einen Anhalt zu gewähren vermögen. Dies ergiebt sich aus der hier zunächst anzuführenden Thatsache, dass unter gleichen äusseren Verhältnissen die verschiedenen Bodenarten, trotz ihres beträchtlich verschiedenen Verhaltens den Wärmeschwankungen gegenüber, im jährlichen Durchschnitt entweder gar keinen oder einen äusserst geringen Unterschied aufweisen. Erklärlich wird dies wenn man berücksichtigt, dass die in einzelnen Perioden auftretenden Unterschiede derart sich gestalten, dass sie sich bei der Summirung ausgleichen. Die thermischen Verhältnisse der Böden lassen sich sonach nur unter Berücksichtigung des Ganges der Bodentemperatur deutlich erkennen. Zur Charakteristik des verschiedenen Verhaltens der Bodenarten der Wärme gegenüber können folgende Daten[1]) dienen:

[1]) *F. Wagner.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VI. 1883. S. 50.

Mittel der Pentaden pro August 1882. (° C.)

Bodenart.	Tieflage der Thermometerkugel cm	1.—5.	6.—10.	11.—15.	16.—20.	21.—25.	26.—31.
(Lufttemperatur:	—	13,70	14,17	18,20	14,01	14,07	12,74)
Torf.	5	15,61	16,80	21,57	16,95	16,67	14,92
	10	15,50	16,32	20,75	17,12	16,89	15,28
	15	15,44	16,07	20,04	17,68	16,88	15,50
	20	15,72	16,11	19,63	18,25	17,20	15,93
	25	15,98	16,20	19,06	18,55	17,45	16,25
Lehm.	5	15,28	16,50	21,46	16,34	16,08	14,29
	10	15,15	16,13	21,09	16,43	16,36	14,52
	15	15,06	15,94	20,60	16,57	16,38	14,64
	20	15,15	15,82	20,33	16,80	16,47	14,88
	25	15,09	15,60	19,74	16,93	16,41	14,92
Quarzsand.	5	15,43	16,46	21,30	15,93	16,06	14,06
	10	15,33	16,28	21,16	16,07	16,39	14,29
	15	15,32	16,22	21,01	16,17	16,61	14,58
	20	15,29	16,07	20,69	16,31	16,63	14,78
	25	15,24	15,94	20,33	16,41	16,58	14,83

Tägliche Beobachtungen vom 11.—15. August 1882. (° C.)

Bodenart.	Tieflage der Thermometerkugel cm	11.		12.		13.		14.		15.	
		Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.
(Lufttemperatur:	—	11,3	24,4	11,3	25,3	11,6	27,2	15,9	21,2	14,7	24,9[1])
Torf.	5	15,4	26,3	15,5	27,2	15,8	27,7	18,6	25,2	18,0	26,0
	10	17,3	22,4	18,0	23,1	18,7	24,0	20,0	21,8	19,4	22,8
	15	18,2	19,6	19,2	20,4	19,8	21,1	20,6	20,5	20,0	21,0
	20	18,2	18,4	19,2	19,2	19,9	19,8	20,6	20,2	20,4	20,4
	25	17,7	17,8	18,5	18,5	19,2	19,2	19,9	19,8	20,0	20,0
Lehm.	5	15,4	27,1	15,2	28,0	15,4	28,3	18,0	24,0	17,4	25,8
	10	16,0	25,1	16,4	25,9	17,0	26,6	19,0	22,9	17,8	24,2
	15	17,0	22,8	17,6	23,6	18,4	24,2	19,6	21,6	18,6	22,6
	20	17,6	21,3	18,5	22,0	19,2	22,8	20,2	21,0	19,1	21,6
	25	17,8	19,6	18,8	20,2	19,6	21,0	20,4	20,2	19,4	20,4
Quarzsand.	5	14,8	27,1	14,6	28,0	14,7	28,0	18,0	24,3	17,2	26,3
	10	15,0	26,4	15,2	27,0	15,6	27,3	18,6	23,8	17,1	25,6
	15	15,7	25,2	16,2	25,8	16,8	26,2	19,1	23,2	17,4	24,5
	20	16,6	23,5	17,2	24,0	18,0	24,6	19,6	22,2	18,1	23,1
	25	17,1	22,0	17,9	22,5	18,7	23,1	20,0	21,3	18,0	22,1

[1]) Die Zahlen für die Lufttemperatur geben das Minimum resp. Maximum an.

Ueberblickt man die in der ersten Tabelle niedergelegten Zahlen, so zeigt sich, dass bei Zunahme der Temperatur von der ersten zur dritten Pentade hin der Quarzsand in fast allen Schichten eine bedeutendere Temperatursteigerung erleidet als der Torf; der Lehm, als Repräsentant des Thones, steht in der Mitte zwischen diesen beiden extremen Bodenarten. Beim Sinken der Temperatur dagegen von der dritten Pentade bis zur sechsten kühlt sich der Humus in allen Bodenschichten viel langsamer ab als der Quarzsand, welcher dem Herabgehen der Temperatur in ausserordentlichem Grade folgt. Der Lehm hält sich auch in dieser Beziehung in der Mitte. Ein solcher Verlauf der Temperatur, wie der vorstehend beschriebene, äussert sich aber nicht allein im Mittel, sondern auch mit derselben Consequenz an den einzelnen Tagen, wie aus den in der zweiten Tabelle zusammengestellten Beobachtungsergebnissen zu entehmen ist. Das Sinken der Temperatur während der Nacht hat auf die verschiedenen Schichten des Sandes eine ungemein deprimirende Wirkung, während unter ganz denselben Verhältnissen die Temperatur des Torfbodens verhältnissmässig nur wenig alterirt wird (vergl. die Beobachtungen Morgens). Bei steigender Lufttemperatur während des Tages dagegen erhöht sich die Wärme im Sand in den tieferen Schichten bis zu einer bedeutenden Höhe, hingegen folgt der Humus den Einwirkungen der Sonnenstrahlen in dieser Beziehung nur langsam (vergl. die Beobachtungen Abends). Dieselben Gesetzmässigkeiten, wie solche hier für warme und kalte Zeitabschnitte gefunden wurden, machen sich gleichergestalt auch in den Jahreszeiten mit entsprechenden Temperaturverhältnissen geltend. Demgemäss erscheint die Schlussfolgerung berechtigt, dass bei steigender Temperatur (während der Insolation und wärmeren Jahreszeit) von den verschiedenen Bodenconstituenten der Humus sich am schwächsten erwärmt, dann folgt der Thon, während der Quarzsand die stärkste Temperatursteigerung erleidet, ferner, dass bei sinkender Temperatur (während der Nacht und kälteren Jahreszeit) die Wärmeverhältnisse der Hauptbodengemengtheile sich gerade umgekehrt gestalten, insofern der Humus sich am langsamsten abkühlt, der Quarzsand am schnellsten, und der Thon in dieser Beziehung in der Mitte steht.

Aus dem Mitgetheilten ergiebt sich, dass *bei einem normalen Gange der Temperatur* der Humus im Durchschnitt im Sommer kälter, im Winter wärmer ist als der Quarzsand und der Thon in dieser Beziehung in der Mitte steht. Diese Regel erleidet jedoch unter abnormen Witterungsverhältnissen für längere oder kürzere Zeiträume mancherlei Ausnahmen, die sich nach den geschilderten Gesetzmässigkeiten von selbst ergeben. Sobald nämlich im Sommer häufig Depressionen der Temperatur auftreten und im Durchschnitt die Witterung eine kühle und feuchte ist, kann die Mitteltemperatur des Humus sich höher stellen als jene des Quarzsandes. Ebenso kann in milden, sonnigen und niederschlagsarmen Wintern der Humus im Durchschnitt eine niedrigere Temperatur als der Quarzsand aufweisen.

Die bezüglich der thermischen Verhältnisse der verschiedenen Bodenconstituenten angeführten Daten lassen weiters erkennen, dass die Schwankungen der Temperatur in dem Humus am geringsten, beim Quarz am grössten und bei dem Thon von mittlerer Intensität sind. Die betreffenden Unterschiede, welche mit der Tiefe abnehmen, sind sehr beträchtlich, wie man aus den Differenzen

der Morgen- und Abendbeobachtungen in der zweiten Tabelle ersehen kann. Noch deutlicher kommt das Verhalten der Bodenconstituenten in dieser Richtung durch folgende Zahlen[1]) zum Ausdruck:

1880.	Mittlere monatliche Temperaturschwankungen in 10 cm Tiefe. (°C.)		
	Torf.	Lehm.	Quarzsand.
April . . .	5,30	8,98	10,25
Mai	9,08	14,20	15,90
Juni	7,31	11,43	13,34
Juli	6,91	11,93	13,98
August . . .	4,77	8,91	12,01
September . .	4,93	7,37	9,87

Was schliesslich das Eindringen des Frostes in den Boden und das Aufthauen des letzteren betrifft, so werden diese Vorgänge nach dem geschilderten Verhalten der Böden zur Wärme schon a priori ermessen werden können. Offenbar wird das Gefrieren und das Aufthauen des Wassers im Boden um so langsamer erfolgen, je mehr der Einfluss der äusseren Temperatur auf das Material sich verzögert und umgekehrt. Welche Gesetzmässigkeiten hierbei in die Erscheinung treten, lässt sich zunächst aus einigen von *A. Petit*[2]) angestellten Versuchen ersehen. Bei diesen wurden kubische, aus 3 cm starken Brettern hergestellte, 8 Liter fassende Kästen verwendet, welche mit den betreffenden Bodenarten im capillar gesättigten Zustande beschickt waren und zunächst im Freien dem Frost ausgesetzt, späterhin behufs des Aufthauens in ein höher temperirtes Zimmer verbracht wurden. Die in 10 cm Tiefe vorgenommenen Ablesungen lieferten folgendes Resultat:

Gefrieren des Bodens.

Zeit.	Luft-temperatur.	Bodentemperatur.		
		Quarzsand.	Thon.	Torf.
1. Tag.				
10h a. m.	−9,0	3,60	3,35	2,65
2 „ p. m.	−7,1	0,05	0,55	1,80
6 „	−8,3	0,00	0,00	0,20
2. Tag.				
6h a. m.	−11,7	−9,10	−0,90	−0,70
10 „	−10,6	−11,90	−5,10	−0,70
2 „ p. m.	−6,0	−9,25	−7,30	−0,70
4 „	−6,1	−8,65	−7,30	−0,70
3. Tag.				
8h a. m.	−10,8	−12,50	−11,90	−2,20
8 „ p. m.	−7,9	−7,30	−5,60	−5,10
4. Tag.				
8h a. m.	−8,9	−10,20	−9,60	−8,50

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VI. 1883. S. 205—210.

[2]) *A. Petit.* Ebenda. Bd. XVI. 1893. S. 285.

Analoges Verhalten zeigen die drei Bodenconstituenten unter natürlichen Verhältnissen, wie folgende Daten aus Versuchen des Verfassers darthun:

Datum 1879.	Luft-temperatur.	Torf.			Thon.			Quarzsand.		
		Mittlere Bodentemperatur (°C.) in einer Tiefe von								
		10 cm.	40 cm.	70 cm.	10 cm.	40 cm.	70 cm.	10 cm.	40 cm.	70 cm.
1.—5. Decbr.	— 9,36	— 3,10	+1,96	+3,86	—2,19	+0,59	+2,46	— 4,51	—0,31	+1,44
6.—10. „	—12,48	— 4,94	+1,36	+3,27	—3,97	—0,33	+1,74	— 6,30	—1,27	+0,71
11.—15. „	—11,15	— 6,40	+0,82	+2,71	—5,19	—1,33	+1,14	— 7,31	—2,47	+0,05
16.—20. „	—15,19	—11,09	—0,17	+2,18	—9,04	—3,66	+0,49	—11,93	—5,62	—1,43
21.—25. „	—12,78	—11,00	—0,42	+1,69	—8,93	—4,59	—0,16	—11,53	—5,46	—1,98
26.—31. „	— 5,59	— 6,61	—0,91	+1,55	—5,00	—4,37	—0,85	— 5,11	—3,91	—1,91

Hinsichtlich des Ganges der Temperatur in dem gefrorenen Boden unter dem Einfluss höherer Lufttemperatur wurden von *A. Petit* folgende Zahlen ermittelt:

Aufthauen des Bodens.

Zeit.	Lufttemperatur.	Bodentemperatur.		
		Quarzsand.	Thon.	Torf.
1. Tag.				
9^h^ a. m.	+23,1	—10,15	—9,65	— 8,50
10 „	+23,1	—6,90	—8,50	— 8,05
11 „	+24,2	—2,60	—5,75	— 6,30
12 „ m.	+25,0	—0,60	— 3,70	—5,00
1 „ p. m.	+24,6	—0,15	—2,40	—4,15
2 „	+23,2	0,00	—1,70	—3,65
3 „	+21,6	0,00	—1,25	—3,30
4 „	+20,0	0,00	—0,95	—3,05
5 „	+19,4	0,00	—0,75	—2,85
6 „	+19,3	+0,05	—0,60	—2,70
8 „	+17,4	+0,20	—0,50	— 2,40
2. Tag.				
5^h^ 30^m^ a. m.	+10,5	+3,80	— 0,20	— 1,80
6 „ 30 „	+15,9	+4,60	—0,20	— 1,70
7 „ 30 „	+20,3	+5,80	—0,10	— 1,60
8 „ 30 „	+21,8	+7,10	—0,10	— 1,60
9 „ 30 „	+22,9	+8,40	0,00	—1,50
10 „ 30 „	+21,8	+9,70	0,00	—1,40

Diesen Zahlen lässt sich entnehmen, dass der Frost in den Humus am langsamsten, in den Quarzsand am schnellsten eindringt, und der Thon in dieser Beziehung in der Mitte steht, ferner, dass die Bodenconstituenten bezüglich des Verlaufes des Aufthauens im Frühjahr ein gleiches Verhalten zeigen.

Die Ursachen der im Vorstehenden geschilderten Erscheinungen sind hauptsächlich in den Unterschieden begründet, welche die Bodenarten hinsichtlich der Wärmecapacität und Wärmeleitungsfähigkeit aufzuweisen haben. Bei dem Humus kann zwar die Oberfläche des Bodens, besonders wenn sie trocken ist, sich in Folge der durch die dunkle Farbe bedingten starken Absorption der Sonnenstrahlen unter dem Einfluss der Insolation ungleich höher erwärmen als die correspondirende Schicht der Mineralböden, aber die aufgenommene Wärme kommt den tieferen Partien des Erdreiches nicht zu Gute, wegen des schlechten Wärmeleitungsvermögens und der hohen Wärmecapacität dieser Bodenart im feuchten Zustande. Letztere Eigenschaften sind gleichzeitig als Ursache der hier mehrfach nachgewiesenen langsamen Erkaltung dieser Bodenart heranzuziehen. Bei dem Quarzsand wird die dem Boden zugeführte Wärme viel schneller in die Tiefe geleitet und bei Abnahme der Temperatur in gleicher Weise eine sich rasch vollziehende Abkühlung bewirkt, weil dieses Material, wie nachgewiesen, einerseits mit dem besten Wärmeleitungsvermögen und andererseits in Folge des vergleichsweise geringen Feuchtigkeitsgehaltes mit der geringsten Wärmecapacität unter allen Bodenconstituenten ausgestattet ist. Dazu kommt, dass der durch Verdunstung bewirkte Wärmeverlust bei dieser Bodenart ein relativ geringer ist. Indem der Thon in den maassgebenden Eigenschaften zwischen den beiden genannten Bodenarten die Mitte hält, bewegt sich der Gang der Temperatur in demselben zwischen dem Extremen.

Schliesslich kann nicht unterlassen werden, an dieser Stelle noch einer Erscheinung auf den Humusböden (Moorböden) Erwähnung zu thun, welche für die Cultur dieser Bodenarten sich besonders belangreich erweist und die sich darin äussert, dass ***Nachtfröste*** auf diesen Böden im Frühjahr (Spätfröste) und im Herbst (Frühfröste) nicht allein häufiger, sondern auch später resp. früher aufzutreten pflegen, als auf mineralischen Bodenarten. Gegen niedere Temperaturen empfindliche Gewächse sind daher auf Moorland in hohem Grade in ihrer Existenz gefährdet.

Die Ursache dieses Phänomens wird einerseits in der durch ergiebige Wasserverdunstung bedingten „Verdunstungskälte", andererseits in dem grösseren Strahlungsvermögen des Moorbodens im Vergleich zu den mineralischen Böden gesucht. Auch begegnet man der Ansicht, „dass Verdunstung und Strahlung sich vereinigen, um in klaren Frühlings- und Sommernächten die Oberfläche des Moorbodens und damit die diesem zunächst befindliche Luftschicht soweit abzukühlen, dass die empfindlicheren Pflanzen erfrieren" [1]).

Diese Annahmen stehen indessen im Widerspruch zu den thatsächlichen Verhältnissen und können nach keiner Richtung zur Erklärung der geschilderten Erscheinung dienen, wie im Folgenden nachzuweisen versucht werden soll.

Die „Verdunstungskälte" kann insofern nicht die Ursache jener Nachtfröste sein, als mineralische Böden, welche eben so grosse und nicht selten noch grössere Wassermengen verdunsten, wie z. B. Lehm- und Thonböden (S. 250), die in Rede stehende, nachtheilig auf die Pflanzen wirkende Abkühlung an der Oberfläche gar nicht, oder doch weniger häufig aufzuweisen haben. Ebensowenig kann die Behauptung, dass das grössere Strahlungsvermögen des Moorbodens, welches durch seine dunkle Farbe hervorgerufen werde, das Sinken der Lufttemperatur an der Oberfläche

[1]) *M. Fleischer.* Landw. Jahrbücher. Bd. XX. 1891. S. 853.

unter den Gefrierpunkt bedinge, als stichhaltig gelten, weil einerseits die Farbe eines Körpers für die Strahlung desselben irrelevant ist (S. 263), und andererseits die Humussubstanz an sich kein grösseres, sondern sogar ein geringeres Strahlungsvermögen besitzt als die übrigen Bodenconstituenten.

Die Wärmestrahlung ist zwar die nächste Ursache des Auftretens von Nachtfrösten, weil diese nur bei starker Strahlung, wie solche in klaren, windstillen Nächten und bei reiner Luft stattfindet, entstehen können, aber dieselbe kommt in dieser Richtung bei vorliegender Frage nicht in Betracht, weil die betreffenden äusseren Bedingungen auf allen Böden vorhanden sein müssen, wenn die Temperatur an der Erdoberfläche sich übermässig abkühlen soll. Die Frage ist daher dahin zu präcisiren, aus welchen Gründen, die Bedingungen zum Eintritt eines Frostes vorausgesetzt, auf dem Humusboden eher eine schädliche Abkühlung in den unteren Luftschichten beobachtet wird als auf anderen Bodenarten.

Wie bereits angeführt, besitzt der Humus kein grösseres, sondern ein geringeres Strahlungsvermögen als die übrigen Bodenconstituenten. Dieses Gesetz kann jedoch nicht ohne Weiteres zur Beantwortung der aufgeworfenen Frage herangezogen werden, weil es nur Giltigkeit bei gleicher Temperaturdifferenz der in Vergleich gezogenen Böden hat. Mit einer Veränderung letzterer ändert sich aber auch der Betrag der Ausstrahlung. Wird ein Körper auf immer höhere Temperaturen erwärmt, so nimmt nicht nur die Intensität der bisher ausgesendeten Wärmestrahlen zu, sondern es treten auch neue Strahlen von anderer Schwingungsweite hinzu. Daher verliert bei gleichem Emissionsvermögen der höher erwärmte Körper absolut mehr Wärme durch Strahlung als der weniger erwärmte Körper, und zwar ist bis zu Temperaturdifferenzen von ca. 60 °C. die ausgestrahlte Wärmemenge der Temperatur proportional. Ein an der Oberfläche auf 50° C. erwärmter Humusboden wird trotz seines an sich geringeren Strahlungsvermögens aus den angeführten Gründen mehr Wärme durch Strahlung abgeben als ein z. B. nur auf 30° C. erwärmter Thonboden. Es fragt sich nunmehr, ob hierdurch die oben erwähnten Unterschiede in dem Sinken der Temperatur bedingt sein könnten. Um dies zu entscheiden, erscheint es, wie gleich gezeigt werden soll, nicht überflüssig, die Umstände näher festzustellen, unter denen das Auftreten der Spätfröste auf Moorböden beobachtet wird. Die einfache Erfahrung lehrt nun, dass die verheerenden Nachtfröste im Frühjahr oder Herbst nur bei *trockener*, nicht aber bei feuchter Beschaffenheit der oberflächlichen Schichten des Moorbodens entstehen[1]). Unter Berücksichtigung dieser Thatsache gewinnt man nunmehr von den Ursachen der in Rede stehenden Erscheinung folgende Vorstellung.

Der trockene, während der Insolation stark erwärmte Moorboden wird sich in klaren Nächten durch Strahlung zunächst schneller abkühlen als der feuchte, weniger hoch temperirte Thonboden und dadurch bald die Temperatur des letzteren erreicht haben. Ist dieser Ausgleich eingetreten, so wird der Moorboden weniger Wärme ausstrahlen als der Thon, weil, wie gezeigt, bei gleicher Temperatur sein Strahlungsvermögen geringer ist als bei diesem. Wenn dennoch, wie Erfahrung und Beob-

---

[1]) *E. Wollny*. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVII. 1894. S. 286.

achtung lehren, die Temperatur des Humus weiterhin tiefer sinkt als die des Thones, so sind zur Erklärung dieser Thatsache offenbar andere Ursachen als die Strahlung in Anspruch zu nehmen. Diese Verhältnisse sind in der That in erster Linie abhängig von dem mit der Wärmecapacität in Beziehung stehenden Wärmevorrath im Boden und von der geringeren oder grösseren Fähigkeit des Bodens, durch Leitung die Wärme fortzupflanzen.[1]) Indem der in den oberflächlichen Schichten ausgetrocknete Humus eine geringe Wärmecapacität und eine schlechte Wärmeleitungsfähigkeit besitzt, kann er den durch Wärmestrahlung bedingten Wärmeverlust nicht in dem Grade ersetzen und muss er deshalb mitsammt den darüber gelagerten Luftschichten in höherem Maasse erkalten als der Thon, welcher nicht allein wegen höherer Wärmecapacität, sondern besonders auch wegen besserer Wärmeleitung eine grössere Wärmemenge abzugeben resp. nach oben zu leiten und damit einer ergiebigeren Erkaltung der unteren Luftschichten vorzubeugen vermag. Bei feuchter Beschaffenheit der Oberfläche gestalten sich diese Verhältnisse bei dem Moorboden deshalb günstiger, als er in diesem Falle in Folge des höheren Wassergehaltes eine grössere Wärmecapacität und eine bessere Wärmeleitungsfähigkeit besitzt.

C. Anderweitige Eigenschaften der Humusstoffe.

Unter den Eigenschaften der Humusarten, welche weder zu den chemischen noch zu den physikalischen gerechnet werden können, gehören der Geruch, der Geschmack, die conservirenden und antiseptischen Eigenschaften, sowie die Brennbarkeit, insbesondere des Torfes der Moorländereien.

a) Der Geruch der Humusstoffe. Die meisten stärker zersetzten Torfe, vornehmlich der wasserreichen Grünlandsmoore, besitzen einen mehr oder minder auffallenden Geruch, welcher wahrscheinlich durch die in der Masse angehäuften Gase, wie Sumpfgas, Aethylen, Schwefelwasserstoff u. s. w. hervorgerufen und selbst bis auf grössere Entfernungen bei dem Ausheben des Torfes in grösseren Massen wahrgenommen wird.

Hierher ist auch der eigenthümliche fast aromatische Erdgeruch zu rechnen, welcher besonders bei stark humosen Bodenarten (Gartenerde) nach kurzen warmen Regen sich häufig bemerkbar macht. Dieser Geruch soll nach den Untersuchungen von *Berthelot* und *André*[2]) durch eine neutrale zur Gruppe der aromatischen Körper gehörende organische Substanz verursacht werden, welche mit Wasserdämpfen flüchtig ist und einen fast stechenden durchdringenden kampherähnlichen Geruch besitzt. Der Stoff ist weder ein Alkali noch eine Säure, noch ein Aldehyd. Aus concentrirter wässeriger Lösung wird er durch kohlensaures Alkali gefällt, wobei sich ein harziger Ring bildet. Mit Kali erhitzt, giebt er einen scharfen Geruch, der dem von Aldehydharz ähnlich ist. Die Menge der von genannten Forschern dargestellten Substanz war zu gering, als dass es möglich war, dieselbe näher auf ihre chemische Beschaffenheit zu prüfen.

F. L. Phipson[3]) glaubt den Erdgeruch auf organische den aetherischen Oelen nahestehende Stoffe zurückführen zu sollen, welche während der heissen trockenen

---

[1]) *J. Ahr.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVII. 1894. S. 436.
[2]) Comptes rendus. T. CXII. p. 598—599.
[3]) Chemical News. Vol. LXIII. 1891. p. 179.

Jahreszeit von der porösen Erde absorbirt und von dieser beim Befeuchten durch den warmen Regen wieder abgegeben werden, in ähnlicher Weise wie dies bei dem Anhauchen von Thon und Mergel geschieht. Er stellte aus poröser Kreide den Riechstoff her, welcher nur von Bromwasser absorbirt wurde. Derselbe besass den Geruch des Cedernholzes und zeigte in seinem chemischen und physikalischen Verhalten grosse Aehnlichkeiten mit dem vom Cedernoel derivirenden Bromcedrin.

Neuerdings gelang es *W. Rullmann*[1]) die riechende Substanz in Form kleiner nadelförmiger Crystalle darzustellen, und zwar in einer eigenthümlichen Weise. Nachdem er nämlich in anderweitigen Untersuchungen gefunden hatte, dass ein Spaltpilz, nämlich Cladothrix odorifera, in Reincultur einen starken Erdgeruch erzeugt, versetzte er, um den Riechstoff zu gewinnen, sterilisirte Bouillon mit diesem Spaltpilz, destillirte nach Entwickelung des Geruchs ab, schüttelte das Destillat mit Aether, nahm den nach Verdunsten des letzteren verbliebenen Rückstand mit salzsäurehaltigem Wasser auf, worauf dann nach vollkommener Verdunstung der Flüssigkeit vorbezeichnete Crystalle gewonnen wurden. Anderseits stellte genannter Autor aus dem mit Salzsäure angesäuerten Destillat und unter Zusatz von Platinchlorid ein Platinsalz her, welches sich nach dem Verdunsten des Destillates in Form von Oktaëdern mit abgestumpften Kanten ausschied. Damit ist die Gewähr gegeben, den Riechkörper weiterhin in solchen Mengen darzustellen, dass eine genaue Bestimmung seiner chemischen Zusammensetzung vorgenommen werden kann. Dies wird um so leichter möglich sein, als Cladothrix odorifera auch mit sterilisirtem Harn 1:5 schon nach 8 Tagen den Erdgeruch hervorbringt.

Ob nur eine Art oder mehrere Arten von Mikroorganismen sich an der Bildung des Erdgeruchs betheiligen, lässt sich vorläufig noch nicht angeben, sicher aber ist, dass die so häufig im Erdboden vorkommenden Bacillus subtilis und B. mycoïdes nach den Beobachtungen von *W. Rullmann* diesen Geruch nicht erzeugen.

Von Cladothrix dichotoma (S. 72) ist die vorbezeichnete Art morphologisch nicht unterschieden, dagegen aber in Bezug auf die chemisch-biologischen Eigenschaften, und zwar insofern erstere nicht im Stande ist, den Erdgeruch zu erzeugen.

b) Der Geschmack der Humusstoffe. Unter den verschiedenen Humusbildungen besitzt eigentlich nur der Torf einen Geschmack, und zwar einen mehr oder weniger säuerlichen. Derselbe ist tintenartig zusammenziehend, wenn der Torf Eisenvitriol enthält.

c) Die antiseptischen Eigenschaften des Torfes. In Folge der fast gänzlichen Abwesenheit von Mikroorganismen, sowie des Vorkommens gewisser löslicher organischer Verbindungen (Humussäuren, harzige Oele u. s. w.) wird der Fäulnissprocess aller fleischigen Theile von Thier- und menschlichen Leichen, die in der Torfmasse vergraben worden sind, hintangehalten. Es tritt in denselben nur insofern eine Veränderung ein, als sie in der Regel in Leichenwachs (Adipocire) verwandelt werden. Die verschiedenen Beobachtungen, durch welche diese conservirenden Eigenschaften des Torfes nachgewiesen wurden, führten naturgemäss zu der Frage, ob die Torfsubstanz die Fähigkeit besitze, die Vermehrung der Bacterien zu hindern, resp. diese Organismen zu tödten. Ein erhöhtes Interesse gewann diese

[1]) *W Rullmann.* Chemisch-bacteriologische Untersuchungen von Zwischenfüllungen mit besonderer Berücksichtigung von Cladothrix odorifera. München. 1895.

Frage dadurch, dass gegen das in neuerer Zeit angewendete Verfahren, den Torf in Form von Torfmull zur Aufsammlung der menschlichen Auswurfstoffe zu benutzen und das in dieser Weise hergestellte Düngemittel in der Landwirthschaft zu verwenden, von gewichtiger Seite sanitäre Bedenken erhoben wurden und zwar weil hiermit möglicherweise die Gefahr der Verbreitung pathogener Bacterien verknüpft sein könnte. Dieses Bedenken war um so berechtigter, als die älteren in dieser Richtung angestellten Beobachtungen keine sicheren Anhaltspunkte zur Beurtheilung vorwürfiger Frage geliefert hatten.

Angesichts der Wichtigkeit dieses Gegenstandes hat in dankenswerther Weise die Düngerabtheilung der deutschen Landwirthschaftsgesellschaft[1]) von verschiedenen Forschern (*Fränkel* in Marburg, *Gärtner* in Jena, *Löffler* in Greifswald, *Stutzer* in Bonn) eine Reihe von Untersuchungen ausführen lassen, welche zunächst zu dem Resultat führten, dass der Torfmull an sich ein ziemlich starkes Desinfectionsvermögen besitzt, was aus der Thatsache geschlossen werden darf, dass demselben zugefügte pathogene Bacterien, besonders Cholerabacillen, abgetödtet werden. Dieses Ergebniss steht in Uebereinstimmung mit der Beobachtung, dass die Torfsubstanz als antiseptischer Verband benutzt, einer Vereiterung von Wunden vorbeugt und eine schnellere Heilung derselben veranlasst, sowie auch mit jenem einiger älterer Versuche von *Gaffky*[2]), *Neuber*[3]) und *C. Reinl*[4]), welche fanden, dass der Torf die Vermehrung der Bacterien verzögert und unter Umständen deren Weiterentwickelung gänzlich aufhebt. Die Ursache dieser Erscheinung ist wohl hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die Moorsubstanz freie Säuren enthält, welche, wie oben (S. 96) nachgewiesen, die Entwickelung der Spaltpilze hemmen.

Im Gemisch mit menschlichen Auswurfstoffen verliert jedoch der Torf seine desinficirenden Eigenschaften in mehr oder minderem Grade, weil in diesem Falle durch das besonders aus dem Harnstoff des Urins sich entwickelnde kohlensaure Ammoniak die Säuren gebunden werden, und die Masse eine alkalische und demgemäss eine solche Beschaffenheit erhält, welche der massenhaften Vermehrung der Bacterien Vorschub leistet (S. 96). In der That ist, wie die von der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft veranlassten Versuche dargethan haben, die Zwischenstreu von Torfmull nicht im Stande, die Abtödtung der in den Fäcalien enthaltenen Keime ansteckender Krankheiten, speciell der Cholera, sicher zu bewirken. Dies kann nur dadurch herbeigeführt werden, dass dem Torf eine solche Säuremenge zugesetzt wird, als erforderlich ist, um der Masse eine sauere Reaction zu ertheilen, resp. um die Bacterien zu tödten, welche aus dem Urin kohlensaures Ammoniak zu erzeugen vermögen.

d) Die Brennbarkeit des Torfes ist je nach der Beschaffenheit desselben ausserordentlich verschieden und vornehmlich abhängig von seinem Gehalt an Kohlenstoff, Wasser und Mineralbestandtheilen. Mit dem Kohlenstoffgehalt nimmt

---

[1]) Die keimtödtende Wirkung des Torfmulls. Vier Gutachten im Auftrage der Dünger-(Kainit-)Abtheilung zusammengestellt und mit Erläuterungen versehen von *J. H. Vogel.* Arbeiten der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft. Heft 1. Berlin. 1894.

[2]) *Gaffky.* Archiv für klinische Chirurgie. Bd. 28. Heft 3.

[3]) *Neuber.* Ebenda. Bd. 27. Heft 4 und Bd. 28. Heft 3.

[4]) *C. Reinl.* Prager medicinische Wochenschrift. 1886. Nr. 13—15.

der Wärmeeffect bei der Verbrennung des Torfes unter sonst gleichen Verhältnissen zu und ab. Aus diesem Grunde besitzt der Torf eine um so grössere Brennbarkeit, je weiter die Zersetzung in demselben vorgeschritten ist, d. h. je älter er ist (S. 222). In dem Maasse sich der Gehalt des Torfes an Wasser und Asche vergrössert, vermindert sich die Wärmeentwickelung bei der Verbrennung, wie aus folgenden Zahlen[1]) ersichtlich ist:

1 kg Torf mit 60 % Kohlenstoff, 6 % Wasserstoff und 34 % Sauerstoff würde entwickeln:

mit	Wärmeeinheiten.	Temperatur.
0 % Asche, trocken . . .	5451	2100 °C.
5 „ „ „ . . .	5179	2092 „
10 „ „ „ . . .	4906	2081 „
20 „ „ „ . . .	4360	2042 „
10 % Wasser	4906	2052 „
25 „ „	4089	1933 „
15 % Wasser u. 10 % Asche	4089	1967 „
30 „ „ „ 20 „ „	2725	1761 „

„Je mehr Asche, je mehr Wasser ein Torf enthält, um so weniger Wärme wird er unter sonst gleichen Verhältnissen zu liefern im Stande sein; je mehr Wasser er enthält, um so geringer wird namentlich der praktisch zu verwendende Antheil des absoluten Wärmeeffectes sein, da der Wassergehalt des Torfes einfach verdampft und dazu ein bestimmter Theil der überhaupt erzeugten Wärme verbraucht werden muss."

Aus dem Gesagten folgt, dass die Brennbarkeit des Torfes in einem und demselben Moore im Allgemeinen mit der Tiefe der Schichten zunimmt, und dass die Brennbarkeit des Torfes aus Hochmooren eine grössere ist als jene des Torfes aus Grünlandsmooren, weil ersterer eine geringere Menge von Aschenbestandtheilen enthält als dieser (S. 226). Zur Gewinnung von Heizmaterial eignen sich aus diesem Grunde die Hochmoore weit besser als die Grünlandsmoore. Weiters wird in dem Betracht, dass die Torfmasse in ersteren in den oberen Schichten wegen unzulänglicher Zersetzung nur eine geringe Brennbarkeit, aber ein grosses Aufsaugungs- und Adsorptionsvermögen für Wasser, resp. für Gase besitzt, geschlossen werden dürfen, dass es zweckmässig sei, die oberen Schichten in solchen Mooren zur Herstellung von Streutorf und nur die tieferen als Brennmaterial zu verwenden.

IV. Der Einfluss der Humusstoffe auf die Fruchtbarkeit der Culturböden.

Die verschiedenen zum Theil complicirten Wirkungen der Humusstoffe auf die Fruchtbarkeit der Culturländereien lassen, je nachdem der Humus als Bodengemengtheil oder als Bodendecke auftritt, Unterschiede erkennen, welche es zweckmässig erscheinen lassen, dieselben nach diesen Richtungen getrennt zu betrachten.

---

[1]) C. u. *K. Birnbaum*. Die Torf-Industrie und die Moorkultur. Braunschweig. 1880. S. 195.

A. Der Humus als Bodengemengtheil.

Je nach den Mengen, in welchen der Humus an der Zusammensetzung des Bodens participirt, ist die Wirkung desselben auf das Wachsthum der Pflanzen eine verschiedene. Während erfahrungsmässig ein gewisser mässiger Humusvorrath den günstigsten Einfluss auf die Fruchtbarkeit des Bodens auszuüben vermag, erweist sich ein Uebermaass in der Regel derart nachtheilig, dass auf einem solchen Lande nur werthlose Gewächse die Bedingungen ihres Gedeihens finden. Die Grenze, bis zu welcher der Humusgehalt noch eine vortheilhafte Wirkung ausübt, lässt sich schwer angeben, weil dieselbe eine verschiedene ist, je nach den sonstigen Eigenschaften des Bodens. Wenn in einer wenig fruchtbaren Erde sich einige wenige Procente Humus anhäufen, so darf dies schon in Rücksicht auf seine für eine reichliche Pflanzenproduction ungünstige Beschaffenheit als relativ viel gelten. Ein solcher geringer Humusgehalt, der einem Sandboden schon die Bezeichnung humusreich einträgt, wird aber den fruchtbaren Lehm- und Thonboden, in welchem die Bedingungen zur reichlichen Bildung von Humus immer vorhanden sind, eher daran arm erscheinen lassen. Für diese Bodenarten kann ein Gehalt von 5—6% etwa als das erforderliche Minimum angesehen werden, wenn diese als humusreich gelten sollen. In den fruchtbarsten Ackererden steigt der Humusgehalt selten über 15% und die meisten Culturböden enthalten nicht mehr als 2—5%.

Der günstige Einfluss, den ein wie der bezeichnete Humusvorrath auf die Fruchtbarkeit der Culturländereien ausübt, ist ein sehr vielseitiger. Derselbe äussert sich sowohl bezüglich der chemischen, als auch der physikalischen Eigenschaften des Bodens.

a) Die chemischen Functionen des Humus treten in der Weise in die Erscheinung, dass er direct und indirect zur Bereicherung des Bodens an aufnehmbaren Nährstoffen, sowie zur Erhaltung der letzteren den auswaschenden Einwirkungen der in den Boden eingedrungenen atmosphärischen Wässer gegenüber meist in einem beträchtlichen Grade beiträgt.

Ob die im Boden vorkommenden Humusverbindungen an sich von den Culturpflanzen aufgenommen und zur Bildung organischer Stoffe verwerthet werden, ist eine Frage, welche vielfach ventilirt, aber noch keineswegs zu einem endgültigen Abschluss gebracht worden ist. Von verschiedener Seite ist die Ansicht ausgesprochen worden, dass eine Aufnahme von organischen Verbindungen seitens der höheren grünen Gewächse insofern nicht möglich sei, als die betreffenden Verbindungen nicht diffundirbar seien[1]). Dieser Einwand ist indessen unzutreffend, weil nach den Untersuchungen von *A. Petermann*[2]) in den Böden organische Substanzen vorkommen, welche die Eigenschaft besitzen, durch eine Membran aus Pergamentpapier zu diffundiren, wie folgende Zahlen darthun:

100 gr Feinerde liessen während 10 Tagen folgende Mengen von organischen Substanzen (gr) diffundiren.

Sandboden.	Thonschiefer mit Sand.	Thonschiefer mit Kalk.	Sandiger Thonboden.	Thoniger Sandboden I.	Thoniger Sandboden II.
0,0328	0,0125	0,0660	0,1811	0,0255	0,0384.

[1]) *W. Detmer.* Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Bd. XIV. S. 294.

[2]) *A. Petermann.* Bulletin de l'Académie royale de Belgique. T. III. 1882. Nr. 1.

Die Natur der dialysirbaren organischen Bodenbestandtheile ist noch nicht erforscht, sie ist aber jedenfalls verschieden von *Grandeau*'s „Matière noire" (S. 218), da letztere weder das Pergamentpapier noch die Membran der Pflanzenzelle passirte, verschieden auch von der Humussäure und dem humussaurem Ammoniak, weil letztere nicht diffusionsfähig sind.

Wenngleich die Vorgänge bei der Dialyse des Bodens mit Pergamentpapier nicht ohne Weiteres auf die Pflanzenzelle übertragen werden können, so dürfte aus denselben doch auf die Möglichkeit einer Aufnahme gewisser Humusstoffe durch die Pflanzen geschlossen und darin eine Bestätigung der längst vergessenen Arbeiten von *E. Risler*[1]), welcher im Gegensatz zu der *Liebig*'schen Lehre annimmt, dass die Pflanzen einen Theil ihres Kohlenstoffs den organischen Substanzen des Bodens verdanken, gefunden werden können.

Die von *P. P. Dehérain*[2]) angestellten einschlägigen Versuche wurden mit zwei Rüben angestellt, von denen die eine in einem an organischen Stoffen reichen und die andere in einem an diesen Bestandtheilen armen, aber mit Mineralstoffen und salpetersauren Salzen reichlich versehenen Boden gezogen war und welche folgende Unterschiede bei der Ernte aufwiesen:

	An organ. Stoffen reiche Erde.	An organ. Stoffen arme, aber gedüngte Erde.
Gewicht der ganzen Pflanze	730 gr	165 gr
„ „ Wurzel . . .	410 „	92 „
Zucker in 100 Theilen Saft	15,04	11,11
Zucker in der ganzen Pflanze	61,60 gr	10,12 gr.

Die in der an organischen Stoffen armen Erde erzogene Pflanze hatte mithin eine viel geringere Erntemasse geliefert als die in der an humosen Bestandtheilen reichen Erde cultivirte Pflanze, trotz reichlicher Zufuhr von Nährstoffen und Wasser. *Dehérain* schliesst hieraus, dass die Unterschiede in den Erträgen nur auf dem verschiedenen Gehalt an organischen Stoffen in den beiden Erden beruhen könnten und gelangt, auf die Untersuchungen von *A. Petermann* bezugnehmend, zu der Schlussfolgerung, dass die Rübe zur Entfaltung des normalen Wachsthums neben den mineralischen Nährstoffen und den Nitraten wahrscheinlich der dialysirbaren, löslichen organischen Substanzen bedarf, und dass sich möglicherweise einige andere Pflanzen ebenso verhalten werden, während wiederum andere diese Stoffe entbehren könnten. Zu einer derartigen Schlussfolgerung berechtigen indessen diese Versuche keineswegs, weil durch dieselben weder die directe Aufnahme der organischen Substanzen noch ein Unterschied in der Menge der betreffenden dialysirbaren Stoffe in den beiden Erden nachgewiesen wurde, abgesehen davon, dass es in Rücksicht auf die grossen individuellen Unterschiede in der Entwickelung der Pflanzen gewagt erscheinen muss, aus den bei nur zwei Exemplaren hervorgetretenen Verschiedenheiten so weitgehende Schlussfolgerungen abzuleiten.

Ausgehend von der aus verschiedenen, besonders von *J. B. Lawes* und *J. H. Gilbert* angestellten Düngungsversuchen hervorgehenden Thatsache, dass die Culturpflanzen, welche in einem an organischen Substanzen reichen resp. mit Stallmist gedüngten Boden wachsen, wesentlich höhere Erträge liefern als jene, welche

---

[1]) ***E. Risler.*** Archives de la Bibliotheque de Genève. 1858.

[2]) ***P. P. Dehérain.*** Annales agronomiques. T. XV. 1889. p. 481—505.

unter sonst gleichen Bedingungen in einem humusarmen aber mit Nährsalzen versehenen, d. h. in einem mit mineralischen Düngemitteln versehenen Boden wachsen, sah sich neuerdings *E. Bréal*[1]) veranlasst, einige Versuche auszuführen, durch welche der Nachweis der directen Aufnahme der Humusstoffe seitens der höheren Pflanzen geliefert werden sollte.

Die 1) in gewöhnlichem Wasser, versehen mit Nitraten und Kaliumphosphat, 2) in gewöhnlichem Wasser mit humussaurem Kalk und 3) in gewöhnlichem Wasser ohne Zusatz entwickelten jungen Pflanzen producirten in ihren ober- und unterirdischen Organen folgende Mengen von Trockensubstanz (gr):

	1.	2.	3.
100 Linsenpflanzen . .	2,250	4,000	2,750
10 Weizenpflanzen . .	0,475	1,050	0,450
3 Bohnenpflanzen . .	6,250	10,250	— .

Hiernach hatte der humussaure Kalk das Wachsthum der jungen Pflänzchen nicht unwesentlich gefördert. Weiterhin stellte *E. Bréal* Versuche mit Poa annua an, indem er ein Büschel dieser Pflanze aus der Erde entnahm, die Wurzeln entfernte und die Pflanzen in einem Gefäss, auf dessen Boden sich eine niedrige Wasserschicht befand, zur Neubildung von Wurzeln veranlasste. Nachdem dies geschehen, wurde der Büschel in zwei gleiche Theile getheilt, von denen der eine in eine Kaliumhumatlösung, der andere in eine ebensolche Lösung, aber nach Lostrennung der Wurzeln, gebracht wurde. Nach zwei oder drei Tagen war in ersterem Fall das Kaliumhumat aus der Lösung vollständig verschwunden, während in dem zweiten Gefäss, in welchem sich die abgetrennten Wurzeln befanden, keine Veränderung der Lösung sich zeigte. Aus der Analyse der Lösungen mittelst doppelt chromsaurem Kali und Schwefelsäure ergab sich, dass durch die Wurzeln bei ersterem Experiment eine Kohlenstoffmenge aufgenommen war, welche 0,20 gr Kohlensäure (= 0,055 gr C.) entsprach. Natriumhumat zeigte eine gleiche Wirkung.

Verfasser brachte ferner auf dem Grunde eines mit etwas Brunnenwasser gefüllten Gefässes einen mit Humussäure bedeckten Streifen von Filtrirpapier an und versenkte darin die Wurzeln einer Poa-Pflanze. Es zeigte sich nun, dass die Wurzeln auf dem Papier dort, wo sie mit demselben in Berührung kamen, eine Zeichnung in der Humussäureschicht eingravirt hatten, in analoger Weise, wie die Bohnenwurzeln auf einer Marmorplatte in dem bekannten Experiment von *J. Sachs*. Schliesslich stellte *E. Bréal* fest, dass die Pflanzen (Poa annua) im Stande seien, Zucker durch ihre Wurzeln aufzunehmen.

Diese Versuchsergebnisse deuten darauf hin, dass organische Substanzen seitens der höheren grünen Gewächse verwerthet werden können; dennoch wird noch nicht aus ihnen geschlossen werden dürfen, dass jene Stoffe als solche von der Pflanze aufgenommen werden, weil nach den Untersuchungen von *H. Molisch*[2]) über Wurzelausscheidungen und deren Einwirkung auf organische Substanzen immerhin die Möglichkeit zugegeben werden muss, dass vor der Aufnahme fraglicher Körper eine mehr oder weniger eingreifende chemische Veränderung derselben stattfindet.

---

[1]) *E. Bréal*. Annales agronomiques. T. XX. 1894. Nr. 8. p. 353—370.

[2]) *H. Molisch*. Sitzungsberichte d. k. Akademie der Wissenschaften in Wien. Math.-naturw. Klasse. XCVI. 3. S. 84—109.

H. Molisch weist nämlich nach, dass die Wurzel durch ihr saures Secret nicht nur polirte Steinplatten corrodirt, sondern auch organische Körper beeinflusst und zwar in noch höherem Grade, als dies bei den Mineralien und Gesteinen der Fall ist, da es sich hierbei nicht nur um eine blosse Auflösung, sondern um eine factische chemische Umwandlung handelt. Das Wurzelsecret kann als ein Autoxydator betrachtet werden, der durch passiven molecularen Sauerstoff oxydirt wird, hierbei Sauerstoff activirt und damit die Verbrennung leicht oxydabler Substanzen, also auch der Humusstoffe, veranlasst. Mithin muss durch die Wurzelausscheidungen die Verwesung der organischen Stoffe des Bodens begünstigt werden, womit die Beobachtung in Uebereinstimmung steht, dass vegetabilischer Dünger rascher in gut durchwurzeltem Erdreich verändert wird als in solchem ohne Wurzeln. Es wird daher die in verschiedenen Versuchen constatirte günstige Wirkung der Humusstoffe auf die Entwickelung der Pflanzen ebenso gut wie auf eine directe Aufnahme derselben, auch auf eine solche der durch ihre vorhergegangene Umsetzung gebildeten Nährstoffe zurückgeführt werden können.

Ueber eine eigenthümliche Aufnahme der organischen Stoffe, wahrscheinlich der Eiweisstoffe, seitens einiger Baumarten hat *B. Frank*[1]) neuerdings eine wichtige Entdeckung gemacht, welche bei Besprechung vorliegender Frage füglich an dieser Stelle nicht umgangen werden kann. Genannter Forscher fand nämlich, dass gewisse Baumarten, vor allen die Cupuliferen und Coniferen, ganz regelmässig sich im Boden nicht selbst ernähren, sondern überall in ihrem gesammten Wurzelsystem mit einem Pilzmycelium in Symbiose[2]) stehen, welches ihnen Ammendienste leistet und die ganze Ernährung des Baumes aus dem Boden übernimmt.

„Wenn man von irgend einer unserer einheimischen Eichen, Buchen, Hainbuchen, Hasel, Kastanie, Kiefer[3]) u. s. w. die im Boden gewachsenen Saugwurzeln, welche die letzten Verzweigungen des Wurzelsystems sind und die eigentlich nahrungsaufnehmenden Organe darstellen, untersucht, so erweisen sie sich allgemein aus zweierlei heterogenen Elementen aufgebaut: aus einem Kern, welcher die eigentliche Baumwurzel repräsentirt, und aus einer mit jenem organisch verwachsenen Rinde, welche aus Pilzhyphen zusammengesetzt ist. Dieser Pilzmantel hüllt die Wurzel vollständig ein, auch den Vegetationspunkt derselben lückenlos überziehend; er wächst mit der Wurzel an der Spitze weiter und verhält sich in jeder Beziehung wie ein zur Wurzel gehöriges und mit dieser organisch verbundenes, peripherisches Gewebe. Der ganze Körper ist also weder Baumwurzel noch Pilz allein, sondern ähnlich wie der Thallus der Flechten eine Vereinigung zweier verschiedener Wesen zu einem einheitlichen morphologischen Organ, welches vielleicht passend als Pilzwurzel, Micorrhiza bezeichnet werden kann.“ Die Verpilzung tritt nach der Keimung erst an den Seitenwurzeln erster und folgender Ordnung auf. Bei Carpinus geht sie am raschesten vor sich; einjährige Pflanzen haben bereits ihr ganzes Saugwurzelsystem

[1]) *B. Frank.* Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft. 1885. Heft 4. S. 128—145. — Biologisches Centralblatt. 1885. Bd. V. S. 225—228. — Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft. Bd. VI. Heft 7. S. 248—269.

[2]) Unter Symbiose versteht man die in der Natur weit verbreitete Erscheinung des Zusammenlebens ungleicher Organismen.

[3]) Forstwissenschaftliches Centralblatt. Jahrgang XVI. 1894. Heft 4. S. 185—190.

zu Micorrhizen umgewandelt. Bei Quercus erfolgt sie relativ am langsamsten; manchmal sind ein- und zweijährige Pflanzen oder wohl auch einzelne Wurzelpartien älterer Pflanzen nur erst partiell verpilzt. Diese pilzfreien Saugwurzeln sind dann wie die anderer Gewächse mit Wurzelhaaren bekleidet, die den Micorrhizen ausnahmslos fehlen. Die Micorrhiza zeigt ein sehr verlangsamtes Längenwachsthum, nimmt aber grössere Stärke an und zeigt grössere Neigung zur Verzweigung, die öfter zu corallenähnlichen Wucherungen führt; die Verzweigung geschieht aber ebenfalls endogen und dieselbe ist monopodial. Wie die Saugwurzeln überhaupt, so haben auch die Micorrhizen eine beschränkte Lebensdauer, und kräftigere, zu dauernden verholzenden Zweigen des Wurzelsystems erstarkende Triebe derselben verlieren ihre Pilzhülle. Der Pilzmantel ist nur den jüngeren, bei der Nahrungsaufnahme in Betracht kommenden Wurzelpartien eigen.

B. Frank constatirte ein regelmässiges Vorhandensein des Pilzes in allen Lebensaltern, an allen Wurzeln, in allen Bodenarten und in allen Gegenden, und zwar bei Carpinus Betulus, Corylus avellana, Fagus silvatica, Quercus pedunculata, Q. sessiliflora, Q. rubra, Castanea vesca, Salix, Populus, Kiefern, Tannen und Fichten. Dagegen wurde der Wurzelpilz nie gefunden an: Betula, Alnus, Ulmus, Morus, Platanus, Juglans, Pirus, Crataegus, Prunus, Robinia, Tilia, Acer, Rhamnus, Cornus, Fraxinus, Syringa, Sambucus. Der Wurzelpilz wählt genau nach Species aus; so sind z. B. in Buchenbeständen nur die Wurzeln der Buchen, nicht aber die von Hedera, Acer, Anemone, Oxalis u. s. w. befallen.

Für die Annahme, dass die Micorrhizen der Bäume als Ueberträger von Nährstoffen in die Pflanze functioniren, lässt sich folgendes anführen.

1) Die Micorrhiza besitzt eine allgemeine Verbreitung, was gegen die Annahme von gewöhnlichem, zufälligem Parasitismus spricht. Der Umstand, dass diese Symbiose an den natürlichen Standorten eine allgemein verbreitete, überall und an jedem Individuum constant auftretende Erscheinung ist, giebt derselben den Charakter einer Anpassung der Pflanze an die Pilzthätigkeit, wobei diese von der letzteren einen bestimmten Nutzen zieht.

2) Das Auftreten der Micorrhiza ist abhängig von dem Humusgehalte des Bodens. Sie kommt ausnahmslos vor in dem gewöhnlichen, humusreichen Waldboden, sie fehlt dagegen bei Abwesenheit von Baumhumus. Durch den natürlichen Waldhumus und die in ihm wachsenden Pilzmycelien werden die Micorrhizen hervorgebracht. Versetzt man umgekehrt Pflanzen mit verpilzten Wurzeln in einen völlig humuslosen Erdboden, so werden die Wurzeln allmählich pilzfrei. Die Micorrhizapilze finden nicht in der lebenden Pflanzenwurzel ihre Lebensbedingungen, sondern vielmehr im Baumhumus.

3) Die Symbiose der Baumwurzeln mit Pilzen bietet eine Reihe von Erscheinungen dar, welche mit der Annahme, dass diese Pilze Ernährungsvermittler des Baumes sind, in vollem Einklang stehen und sogar diese Anschauung nothwendig fordern. So ist die ganze, der Aufsaugung fähige Region der Wurzel lückenlos von dem innig mit ihr verwachsenen Pilzmantel bedeckt, durch den also die Nahrung in die Wurzel treten muss. Dieser Mantel fehlt unter den gewöhnlichen natürlichen Verhältnissen zu keiner Jahreszeit. Die Micorrhiza ist ein längere Zeit, gewöhnlich mehrere Vegetationsperioden hindurch, für die Pflanze functionirendes, in ihrer Form der Humusassimilation angepasstes Organ, welches nicht früher als unverpilzte Saug-

wurzeln abgestossen wird. Die Art, wie Pilz und Pflanze mit einander verbunden sind, entspricht genau den Anforderungen, welche an die Micorrhiza als Organ, das der Pflanze durch den Pilz Nahrung aus dem Humus zuführt, gestellt werden müssen. Die Einwirkung der Micorrhizapilze auf den Waldboden ist jedenfalls sehr bedeutend, wie daraus hervorgeht, dass der Waldhumus zum guten Theil eine lebende Masse von zahllosen Pilzfäden enthält, welche ihn nach allen Richtungen durchsetzen und oft einen wesentlichen Theil seiner organischen Substanz ausmachen. Die Micorrhizen enthalten keine Spur von Salpetersäure, auch wenn die Böden und darauf wachsende Kräuter reich hieran sind, ebenso fehlt Salpetersäure in den Wurzeln, während solche in den Saugwurzeln nicht verpilzter Bäume nachzuweisen ist. Die von dem Micorrhizenpilz aufgenommene Stickstoffverbindung ist unbekannt, der Wurzel selbst scheint dies Material in anderer Form als in der von Salpetersäure übergeben zu werden. Die Bedeutung dieser Symbiose würde also darin liegen, dass die Pilze im Stande sind, Stickstoffquellen zu erschliessen, welche die höhere Pflanze ohne diese Pilzhülfe nicht zu verwerthen vermag. „Bei den chlorophyllhaltigen Pflanzen bewirken die Micorrhizapilze hauptsächlich die Erschliessung des Humusstickstoffs."

4) Für die Ernährung der bezeichneten Gewächse aus den Humusstoffen mit Hülfe der Wurzelpilze sprechen überdies auch die Ergebnisse verschiedener Versuche und Beobachtungen. Junge Eichen und Buchen können sich zwar auch in Nährstofflösungen und auf unverpilztem Boden ernähren, aber die Ernährung ist doch besser, wenn sie durch Vermittelung von Wurzelpilzen mit Humus geschieht. Aus Samen gezogene Buchenpflanzen starben bei humus- und pilzfreier Ernährung theils schon nach dem ersten Sommer ab, theils blieben sie unter sehr kümmerlicher Entwickelung noch die nächsten Jahre am Leben, gingen aber nach und nach ein. Bei Fehlen der Wurzelpilze lässt sich die Buche nur schlecht ernähren, wie Parallelculturen in sterilisirtem und unsterilisirtem Humusboden zeigen. In ersterem starben die Pflanzen nach und nach ab. Weiters gehört hierher die Beobachtung, dass die Kiefer auf einem normalen guten Kiefernboden nicht zur Entwickelung kommt, wenn ihre natürlichen Wurzelpilze fehlen und dadurch die Bildung der Micorrhizen verhindert ist, während sie auf demselben Boden und unter sonst gleichen Verhältnissen kräftig ernährt wird, wenn ihre Wurzeln verpilzt sind.

„Alle Thatsachen sind am besten im Einklange mit folgender Vorstellung. Der Humus des Waldbodens ist belebt durch Pilze[1]), welche befähigt sind, den Kohlen- und Stickstoff der Baumabfälle wieder in pflanzliches Material überzuführen, also direct zu ihrer Ernährung zu verwenden. Die Waldbäume, welche selbst nicht diese Fähigkeit besitzen, machen sich jene Humuspilze durch die Symbiose, welche ihre Wurzeln mit ihnen eingehen, dienstbar, um mit dieser Hülfe das werthvolle Material ihrer eigenen Abfälle so bald und so vollständig als möglich wieder zu erhalten." (*B. Frank.*) Hiernach wäre eigentlich der Baum der Parasit auf saprophytischen Pilzen, wahrscheinlicher ist aber ein mutualistisches Verhältniss, wenn auch nicht näher bekannt ist, welche Gegengabe für seinen Dienst der Pilz von der Baumwurzel erhält.

---

[1]) Ueber die systematische Stellung des Wurzelpilzes lässt sich zur Zeit noch kein sicheres Urtheil fällen. Wahrscheinlich gehört derselbe zu den Tuberaceen oder Hymenogastren.

Bei Zusammenfassung der mitgetheilten Thatsachen kommt man zu dem Ergebniss, dass die höheren grünen Gewächse die Fähigkeit besitzen, gewisse Bestandtheile der Humusstoffe aufzunehmen und zu verwerthen, wobei es allerdings fraglich ist, ob dies auf directem Wege stattfinden könne. Hieraus darf indessen keineswegs auf die Unentbehrlichkeit der Humusstoffe geschlossen werden, weil mit aller Bestimmtheit durch zahlreiche Versuche der Nachweis geliefert worden ist, dass die grünen Pflanzen auch ohne Gegenwart von organischen Stoffen ein Maximum des Ertrages liefern und ihren ganzen Bedarf an Kohlenstoff aus der Kohlensäure der Atmosphäre decken können. Gleichergestalt verliert der Humus nicht das Geringste an seinem Werth für die Fruchtbarkeit des Bodens, wenn auch die geschilderten Functionen desselben als Nährmittel ausser Betracht gelassen werden, weil er im Uebrigen sowohl auf die chemischen, wie auf die physikalischen Eigenschaften des Culturbodens einen höchst günstigen Einfluss auszuüben im Stande ist, wie im Folgenden darzulegen versucht werden soll.

Wie bei einer früheren Gelegenheit (S. 2) nachgewiesen wurde, entstehen bei der Zersetzung organischer Substanzen, wenn diese sich unter den Bedingungen der Verwesung vollzieht, neben Wasser und Kohlensäure, Ammoniak, welches durch weitere Oxydation in salpetersaure Salze umgewandelt wird, sowie lösliche Mineralstoffe, die ursprünglich in nicht assimilirbarer Form sowohl in den verwesenden Pflanzen- resp. Thierresten, als auch zum Theil im Boden selbst[1]) enthalten waren. Demgemäss wird der Boden in dem Maasse sich die humosen Bestandtheile desselben zersetzen, an Ammoniak resp. salpetersauren Salzen und Mineralbestandtheilen bereichert, welche von den angebauten Pflanzen verwerthet werden können. Als günstig hierbei ist in Rücksicht auf die Anwendung von Düngemitteln organischen Ursprungs gegenüber den leicht lösliche Salze enthaltenden künstlichen, der Umstand anzusehen, dass die Nährstoffe bei der Umsetzung der Humusstoffe nicht auf einmal, sondern allmählich gebildet werden, wodurch die Stoffe, besonders die stickstoffhaltigen, in ergiebigster Weise vor Auswaschungen geschützt werden.

Es darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass, wie den Untersuchungen von *E. Simon*[2]) zu entnehmen ist, die Humussäure mit gewissen Mineralstoffen des Bodens, besonders mit der Phosphorsäure, Verbindungen eingeht. Die Darstellung von Doppelverbindungen zwischen Phosphorsäure und organischer Substanz gelang durch Zusammenbringen einer Lösung von humussaurem Ammoniak mit verdünnter Phosphorsäure. In gleicher Weise gelangte schon früher *L. Grandeau*[3]) zu der Annahme, dass Verbindungen zwischen der organischen Substanz des Bodens und den Mineralstoffen existiren, welche Doppelverbindungen nach der Ansicht dieses Forschers eine der Hauptursachen der Fruchtbarkeit der Culturböden bilden.

Die indirecte Wirkung der humosen Bestandtheile beruht vornehmlich darauf, dass die bei deren Verwesung entstehenden Verbindungen das Vermögen besitzen,

[1]) Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass ein Theil der in den Pflanzenresten enthaltenen Mineralbestandtheile durch die Wurzelausscheidungen der Pflanzen gelöst und in diese übergeführt wurden, so dass nach der Verwesung der vegetabilischen Massen Stoffe in leicht löslicher Form gebildet werden, die anfänglich in ungelöster Form, als unzersetzte Mineralien vorhanden waren.

[2]) *Biedermann*'s Centralblatt für Agrikulturchemie. Bd. VIII. 1875. S. 74.

[3]) Journal d'agriculture pratique. 1872. Nr. 14—17, 20 u. 43.

verschiedene ungelöste Mineralbestandtheile des Bodens in Lösung überzuführen. Nach den Angaben von *F. Senft*[1]) werden z. B. Silicate von Alkalien und alkalischen Erden und die Phosphate von Kalk und Eisen in längerer Berührung mit humussaurem Ammoniak zersetzt und löslich gemacht. Weiters bewies *Merschtschersky*[2]), dass Orthoklas durch Humusstoffe angegriffen wird, und *Eichhorn*[3]) stellte durch zahlreiche Versuche fest, dass humusreiche Erden, welche freie Humussäuren enthalten, aus Lösungen neutraler Salze die Säure frei machen und dass die hierdurch entstehende Säuerung stärker ist als ohne die Mitwirkung dieser Salze. Das Lösungsvermögen erstreckt sich auch auf phosphorsaure Salze und Phosphate überhaupt, wobei Phosphorsäure und phosphorsaurer Kalk in Lösung gehen. Die Humusstoffe an sich befördern also die Aufschliessung der Mineralsubstanzen des Bodens, führen dieselben in den assimilirbaren Zustand über und begünstigen dadurch natürlich das Wachsthum der Pflanzen.

Einen sehr bedeutsamen indirecten Einfluss üben die Humusstoffe dadurch aus, dass die bei der Verwesung in grossen Mengen gebildete Kohlensäure auf verschiedene unzersetzte Mineralien des Bodens lösend einwirkt. Diese Wirkung erstreckt sich sowohl auf die Carbonate der alkalischen Erden (Kalk und Magnesia), welche hierbei in Bicarbonate verwandelt werden, als auch besonders auf jene Mineralien, welche kieselsaure alkalische Erden und kieselsaure Alkalien und kieselsaures Eisenoxydul enthalten. Letztere Silicate werden unter dem Einfluss der kohlensäurereichen Bodenfeuchtigkeit zwar langsam aber allmählich zersetzt, in der Weise, dass daraus unter Abscheidung von Kieselsäurehydrat kohlensaure Salze (Carbonate) gebildet werden, die sich dann in Wasser lösen und den Pflanzen zur Ernährung dienen können. In welchem Umfange die Kohlensäure ihren Einfluss in bezeichneter Richtung auszuüben vermag, weisen die diesbezüglichen Versuche von *Th. Dietrich*[4]) nach, der die betreffenden Erdarten und Gesteine mit destillirtem und mit kohlensäurehaltigem Wasser behandelte und bei Bestimmung der Mineralstoffe, die sich in diesen Flüssigkeiten gelöst hatten, folgende Zahlen erhielt:

	Gesammtmenge (gr) der löslichen Mineralstoffe in 200 gr.							
	Humushaltiger Lehmboden.	Geglühter Lehmboden.	Porphyr.	Basalt.	Phosphorit.	Gneissboden.	Grauwackeboden.	Boden des Rothliegenden.
Destillirtes Wasser	0,039	0,085	0,020	0,016	0,032	0,067	0,133	0,013
Kohlensäureh. Wasser	0,072	0,171	0,040	0,298	0,072	0,340	0,166	0,467

In den Versuchen von *A. Stöckhard*[5]) lösten sich aus 10000 Gewichtstheilen Gesteinspulver von

	Porphyr.	Basalt.	geglühtem Lehm.
Destillirtes Wasser	10 Gew. Thle.	8 Gew. Thle.	42 Gew. Thle.
Kohlensäureh. Wasser	20 „	149 „	85 „

und zwar besonders Kali, Natron und Kalk.

K. Haushofer[6]) konnte constatiren, dass aus einem gepulverten Granit von Unter-Röslau am Fichtelgebirge aus 1000 Theilen gelöst wurden in

---

[1]) *F. Senft.* Lehrbuch der Gesteins- und Bodenkunde. 2. Auflage. Berlin. 1877. S. 331.
[2]) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. Bd. 16. S. 2283.
[3]) Landwirthschaftliche Jahrbücher. Bd. I. 1877. S. 957.
[4]) *Th. Dietrich.* Journal für praktische Chemie. Bd. 74. S. 129.
[5]) *A. Stöckhard.* Chemischer Ackersmann. 1873. S. 230.
[6]) *K. Haushofer.* Journal für praktische Chemie. Bd. 103. S. 121.

reinem Wasser:	kohlensäurehaltigem Wasser:
0,062 Thle.	0,172 Thle.

Die von *A. Cossa*[1]) mit Gneiss, Phonolith, Trachyt, Basalt u. s. w. ausgeführten Versuche führten zu einem ganz ähnlichen Resultat.

Dass auch Phosphorsäure aus schwerlöslichen Verbindungen (Phosphorite) durch die Kohlensäure gelöst wird, hat *Th. Dietrich* nachgewiesen, welcher fand, dass aus 200 gr eines Phosphorites von Annaberg an Phosphorsäure gelöst wurden in

destillirtem Wasser:	kohlensäurehaltigem Wasser:
Spur.	0,0019 gr.

Nach den mitgetheilten Daten üben die Humusstoffe dadurch eine günstige Wirkung auf den Boden aus, dass sie durch Bildung von Kohlensäure die Lösung resp. die Verwitterung gewisser ungelöster Mineralien wesentlich fördern und auch dadurch zur Vermehrung des Nährstoffvorrathes im Boden beitragen.

Die durch die Kohlensäure geförderte Verwitterung der oben genannten Silicate hat ausser der Bildung von löslichen Pflanzennährstoffen jene von einem Gemenge aus Thon und Kieselsäure zur Folge, aus welchem bei dem Hinzutreten von Alkalien und alkalischen Erden eigenthümliche (zeolithartige) Doppelverbindungen entstehen, die bei der chemischen Absorption der Pflanzennährstoffe im Boden eine wichtige Rolle spielen.

Gleichergestalt wie die Kohlensäure übt auch das bei der Verwesung entstehende Ammoniak einen lösenden Einfluss auf noch unzersetzte Mineralien aus, besonders dann, wenn das Wasser gleichzeitig mit Kohlensäure geschwängert ist. Dies wurde von *Th. Dietrich* nachgewiesen, welcher folgende Daten ermittelte.

Es wurden gelöst durch	Gesammtmenge (gr) der löslichen Mineralstoffe von 200 gr.					
	Humushaltiger Lehmboden.	Geglühter Lehmboden.	Porphyr.	Basalt.	Glimmer.	Phosphorit.
Destillirtes Wasser	0,039	0,085	0,020	0,016	0,020	0,032
Dest. Wasser u. kohlens. Ammoniak . .	0,073	0,066	0,038	0,534	0,013	0,035
Kohlensäureh. Wasser u. kohlens. Ammoniak	0,128	0,118	0,058	0,667	0,045	0,050.

Aus dem Phosphorit wurden gelöst an Phosphorsäure:

Destillirtes Wasser.	Destillirtes Wasser u. kohlensaures Ammoniak.	Kohlensäurehaltiges Wasser u. kohlensaures Ammoniak.
0,0019	0,0052	0,0032.

Von den chemischen Wirkungen sind schliesslich jene von der grössten Bedeutung, welche der Humus vermöge seines Absorptionsvermögens für Pflanzennährstoffe auszuüben im Stande ist. Die Kraft, mit welcher die letzteren von den Humussubstanzen festgehalten und dadurch vor den auswaschenden Wirkungen des in den Boden eindringenden atmosphärischen Wassers geschützt werden, ist, wie an einer anderen Stelle (S. 233) nachgewiesen wurde, sehr beträchtlich. Die betreffende Wirkung macht sich in besonderem Grade bei solchen Bodenarten geltend, welche arm an Thon sind, also bei leichten sandigen Böden, die ohnehin grosse Sickerwasser-

[1]) *A Cossa.* Journal für praktische Chemie. Bd. 106. S. 381.
[2]) *Biedermann*'s Centralblatt für Agrikulturchemie. Bd. VIII. 1875. S. 74.
[3]) Journal d'agriculture pratique. 1872. S. 14—17, 20 u. 43.

mengen liefern (S. 153 u. 252). Humusreiche Sandböden sind schon lediglich aus diesem Grunde wesentlich fruchtbarer als jene, deren Gehalt an organischen Stoffen ein geringer oder gleich Null ist.

b) Die physikalischen Functionen des Humus. Die humosen Bestandtheile haben auf die physikalischen Eigenschaften der Mineralböden in fast allen Fällen eine ausserordentlich günstige, wenngleich verschiedene Wirkung.

Hinsichtlich der Cohärescenz des Bodens lassen die vorliegenden Versuche von *H. Puchner*[1]) deutlich erkennen, dass dieselbe besonders bei allen thonigen Böden durch die Beimischung von Humus herabgedrückt wird. Bei einem Wassergehalt von 0°, 20°, 40° und 60° betrug im Mittel

die absolute Festigkeit der Erdcylinder von 3 cm Höhe und 2 cm Durchmesser:

Kaolin.	2/3 vol. Kaolin + 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Kaolin + 2/3 vol. Humus.
24251 gr	21708 gr	4644 gr.

Die Consistenz (Bündigkeit) des Thonbodens nimmt demnach in dem Maasse ab, als er grössere Humusmengen in sich einschliesst. Bei dem Quarz, der an sich schon einen geringen Zusammenhang zwischen seinen Theilchen besitzt, macht sich eine ähnliche Wirkung des Humusgehaltes bemerkbar, doch ist dieselbe bei dieser Bodenart aus leicht erklärlichen Gründen von geringem Belang.

Weiters werden durch den Humus die Widerstände herabgedrückt, welche die Böden, besonders die schweren, bei der mechanischen Bearbeitung den Ackerwerkzeugen entgegenstellen. Dies giebt sich zunächst dadurch zu erkennen, dass der sogen. Trennungswiderstand sich in dem Grade vermindert, als die Erdmasse einen grösseren Humusgehalt besitzt. Bei einem von 0% bis 100% der vollen Wassercapacität von 20 zu 20% ansteigenden Wassergehalt stellte sich im Mittel wie folgt

der Trennungswiderstand in gr:

Kaolin.	2/3 vol. Kaolin + 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Kaolin + 2/3 vol. Humus.
9833	5713	2281.

Für die Beurtheilung der durch den Humusgehalt hervorgerufenen Abänderungen in Bezug auf die Bearbeitbarkeit ist weiters die Thatsache bemerkenswerth, dass die Adhäsion des Bodens an den Ackerwerkzeugen mit steigendem Humusgehalt eine Verminderung erleidet. So war z. B. in den Versuchen von *J. Schachbasian*[2]) zum Abheben einer an den Boden sanft angedrückten polirten Stahlplatte von 100 qcm Fläche ein Gewicht (gr) erforderlich von

bei Kaolin	2/3 vol. Kaolin + 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Kaolin + 2/3 vol. Humus.	Quarz.	2/3 vol. Quarz + 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Quarz + 2/3 vol. Humus.
Wassergehalt 100% der vollen Wassercapacität.					
3347,4	2068,4	1913,8	1956,8	1840,6	1633,2
Wassergehalt 80% der vollen Wassercapacität.					
5212,8	2254,8	116,6	0	0	0

Der Einfluss eines verschiedenen Humusgehaltes auf den Reibungscoëfficienten machte sich nach den Versuchen des genannten Autors in folgender Weise geltend:

[1]) *H. Puchner.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XII. 1889. S. 195.

[2]) *J. Schachbasian.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XIII. 1890. S. 193.

Reibungscoëfficient.

Feucht:	Kaolin.	2/3 vol. Kaolin + 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Kaolin + 2/3 vol. Humus.	Quarz.	2/3 vol. Quarz + 1/3 vol. Humus.	1/3 vol. Quarz + 2/3 vol. Humus.
Stahl, polirt:	0,4335	0,4495	0,4850	0,8250	0,7930	0,7305.

Bei dem Kaolin (Thon) nahm die Reibung mit dem Humusgehalt des Bodens unbedeutend zu, dagegen wurde der Reibungscoëfficient bei dem Quarzsand nicht unwesentlich in dem Maasse herabgedrückt, als der Humusgehalt des Erdgemisches eine Steigerung erfuhr.

Fasst man die hier in Kürze geschilderten Momente zusammen, so gelangt man zu dem Resultat, dass durch den Humus die Mineralböden, besonders die schweren, leichter bearbeitbar werden.

Ein gewisser höherer Vorrath an organischen Stoffen ermöglicht überdies die Herstellung einer normalen Structur, wie solche in der Krümelung des Bodens, d. h. in der Bildung lockerer Aggregate besteht und die herzustellen die Aufgabe einer rationellen Bearbeitung des Culturlandes bilden muss. Nach den Untersuchungen von *Th. Schloesing*[1]) sind die humussauren Salze selbst in geringen Mengen befähigt, Thon-, Sand- und Kalktheilchen zu Bröckchen zu vereinigen, dabei gewissermaassen wie ein Kitt wirkend. Schon 1% Humussäure, an Kalk oder Thon gebunden, genügte, um den bezeichneten Bodenarten den durch Krümelbildung bedingten Grad von Lockerheit zu ertheilen und damit die Durchlässigkeit derselben für Luft und Wasser wesentlich zu erhöhen. Auf Grund dieser Thatsachen wird die Schlussfolgerung abgeleitet werden können, dass die Humussubstanzen neben ihren mancherlei anderen guten Eigenschaften namentlich auch die Fähigkeit besitzen, schwere Böden lockerer zu machen.

Von den weiteren Wirkungen, welche ein verschiedener Humusgehalt auf die physikalische Beschaffenheit der Mineralböden ausübt, verdienen jene eine besondere Beachtung, welche sich hinsichtlich des Verhaltens letzterer zum Wasser äussern. Die in dieser Richtung vom Verfasser[2]) in Lysimetern von 400 qcm Querschnitt und 0,30 m Höhe angestellten Versuche ergaben in der Zeit vom 1. April bis 30. September folgende Resultate.

Mittlerer volumprocentischer Wassergehalt der Böden.[3])

Jahr.	Lehm.	3/4 Lehm + 1/4 Humus.	1/2 Lehm + 1/2 Humus.	1/4 Lehm + 3/4 Humus.	Quarzsand.	3/4 Quarzsand + 1/4 Humus.	1/2 Quarzsand + 1/2 Humus.	1/4 Quarzsand + 3/4 Humus.
1882	34,35	38,96	39,48	43,12	11,68	22,71	29,78	38,93
1884	34,23	36,53	37,28	38,99	12,34	19,72	25,27	34,09
Sickerwassermengen (gr) pro 400 qcm Fläche.								
1882	5395	8637	9013	10117	16638	17217	14228	12207
1884	5991	7295	7098	7596	13256	14065	13155	11044
Verdunstungsmengen (gr) pro 400 qcm Fläche.								
1882	15718	14224	13808	13324	7893	6854	9503	11687
1884	14373	12949	13256	12409	7198	6039	6706	9060

[1]) Comptes rendus. T. LXXIV. 1872. p. 1408.

[2]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVIII. 1895. S. 27.

[3]) Die Gemische wurden dem Volumen nach hergestellt. Der Humus wurde in Form von Torfpulver verwendet.

Die vorstehenden Zahlen lassen zur Evidenz erkennen,

1. dass die Vermehrung des Humusgehaltes in Lehm- und Sandgemischen eine Steigerung der Feuchtigkeit in der Masse zur Folge hat, die bei dem Sande bedeutend grösser ist als bei dem Lehm. Letzteres ergiebt sich, wenn man die relativen Unterschiede in den beobachteten Werthen berechnet, wobei sich folgende Zahlen ergeben:

Relatives Verhältniss (1884).

Lehm	3/4 Lehm + 1/4 Humus.	1/2 Lehm + 1/2 Humus.	1/4 Lehm + 3/4 Humus.
1	1,07	1,09	1,14.
Quarz	**3/4 Quarz + 1/4 Humus.**	**1/2 Quarz + 1/2 Humus.**	**1/4 Quarz + 3/4 Humus.**
1	1,60	2,05	2,76.

Die Ursache der durch diese Zahlen charakterisirten Gesetzmässigkeit ist vor Allem darin zu suchen, dass Lehm und Humus an sich in Bezug auf das Wasserfassungsvermögen sich ungleich ähnlicher sind als Quarz und Humus (S. 246). Die beiden mit einer hohen Wassercapacität ausgestatteten Bodengemengtheile werden sich daher in ihren Mischungen weit weniger gegenseitig beeinflussen als Quarzsand und Humus, von denen der erstere nur geringe, der letztere sehr bedeutende Wassermengen zu fassen vermag. Immerhin ist der Umstand, dass der Humus auf die Aufspeicherung des Wassers in den Lehmgemischen einen verhältnissmässig so geringen Einfluss ausgeübt hatte, insofern noch nicht genügend durch bezeichnete Momente erklärt, da die Unterschiede in der Wassercapacität der betreffenden Hauptbodengemengtheile an sich noch ziemlich erheblich sind. Der Grund dafür, dass in den Lehm-Humusgemischen der Wassergehalt mehr ausgeglichen war, ist jedenfalls darin zu suchen, dass in diesen eine starke Krümelbildung stattgefunden hatte, durch welche die Wassercapacität herabgesetzt und die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser erhöht wurde.

Weiters ist den oben mitgetheilten Zahlen zu entnehmen,

2. dass in den Lehmgemischen die Sickerwassermengen um so grösser sind, je höher der Humusgehalt derselben ist, während in den bezüglichen Sandgemischen die entgegengesetzten Verhältnisse in die Erscheinung treten.

Die Zunahme der Durchlässigkeit mit dem Humusgehalt in den Lehmgemischen lässt sich einerseits auf die an sich grössere Durchlässigkeit des Humus im Vergleich zum Thon, sowie andererseits auch wohl auf die mit der Humusbeimischung verbundene Krümelbildung zurückführen. Bei dem Sande lassen sich die hervorgetretenen Gesetzmässigkeiten durch die mit dem Humusgehalt steigende Wassercapacität und durch die in gleichem Maasse abnehmende Permeabilität der Gemische erklären. Für die Thatsache, dass das Gemisch aus 3/4 vol. Quarzsand und 1/4 vol. Humus eine grössere Sickerwassermenge ergeben hatte als der reine Quarzsand, ist der Umstand in Anspruch zu nehmen, dass gerade in diesem Gemisch eine stärkere Krümelbildung stattgefunden hatte.

Schliesslich lässt sich aus den angeführten Zahlen ersehen,

3. dass in Lehmgemischen um so geringere Wassermengen verdunstet werden, je reicher die Masse an Humus ist, dass hingegen in Sandgemischen die Verdunstungsgrösse mit dem Humusgehalt wächst. Zur Erklärung hierfür ist die Thatsache heranzuziehen, dass in dem Lehm die Leitung des Wassers mit zunehmendem Humusgehalt verlangsamt und das verdunstete Wasser in gleichem Grade schwieriger ersetzt wird, weil der Humus an sich das Wasser weniger schnell leitet als der Lehm und gleichzeitig eine Krümelbildung stattfindet, welche die Geschwindigkeit der Bewegung des Wassers gegen die Oberfläche herabdrückt. Die Verdunstung steht nach alledem zur Absickerung in einem umgekehrten Verhältniss, so dass sich ihre Wirkungen im Durchschnitt fast ausgleichen und in dem Wassergehalt der Materialien vornehmlich die Wassercapacität zum Ausdruck gelangt.

Die Wirkung der Humusstoffe auf die Feuchtigkeitsverhältnisse der Culturländer äussert sich nach dem Mitgetheilten hauptsächlich darin, dass leichte Böden, in welchen die Pflanzen leicht Mangel an Wasser leiden, feuchter und dadurch fruchtbarer werden, während bei den bündigen, das Wasser gut zurückhaltenden Böden deren Durchlässigkeit eine Förderung erfährt.

Die Abänderung der Bodentemperatur durch verschiedenen Humusgehalt lässt sich aus folgenden, vom Verfasser ermittelten Daten[1]) ermessen:

1883. *Lehm.*

Juli.	Bodentemperatur in 15 cm Tiefe.				Temperaturschwankungen.			
	Lehm.	3/4 Lehm + 1/4 Humus.	1/2 Lehm + 1/2 Humus.	1/4 Lehm + 3/4 Humus.	Lehm.	3/4 Lehm + 1/4 Humus.	1/2 Lehm + 1/2 Humus.	1/4 Lehm + 3/4 Humus.
1.–5.	21,58	21,65	21,80	21,92	8,5	8,3	8,0	5,2
6.–10.	22,36	22,42	22,44	22,53	6,9	7,3	6,1	4,3
11.–15.	21,24	20,95	20,97	21,17	8,1	7,7	7,4	6,8
16.–20.	14,94	15,25	15,34	15,57	4,6	4,0	3,9	3,5
21.–25.	15,82	15,94	15,93	15,98	6,9	6,1	5,6	5,2
26.–31.	15,37	15,35	15,40	15,57	6,6	5,0	4,5	3,9
Mittel:	18,49	18,49	18,54	18,68	**6,93**	**6,40**	**5,92**	**4,82**

Quarzsand.

Juli.	Bodentemperatur in 15 cm Tiefe.				Temperaturschwankungen.			
	Sand.	3/4 Sand + 1/4 Humus.	1/2 Sand + 1/2 Humus.	1/4 Sand + 3/4 Humus.	Sand.	3/4 Sand + 1/4 Humus.	1/2 Sand + 1/2 Humus.	1/4 Sand + 3/4 Humus.
1.–5.	23,79	23,60	23,44	22,86	11,0	9,8	9,0	6,3
6.–10.	23,75	23,62	23,51	23,10	9,2	8,2	7,2	4,8
11.–15.	21,62	21,74	21,74	21,83	11,9	10,5	9,3	7,2
16.–20.	15,22	15,41	15,46	15,65	5,7	5,3	4,9	4,1
21.–25.	16,46	16,40	16,27	16,13	11,3	10,2	8,5	6,2
26.–31.	16,12	16,08	15,88	15,82	9,8	9,1	7,2	4,6
Mittel:	19,38	19,36	19,27	19,12	**9,82**	**8,85**	**7,68**	**5,8**

[1]) Der Humus kam in Form von gepulvertem Torf in Anwendung. Die Beobachtungen der Bodentemperatur wurden täglich um 7h a. m. und um 4h p. m. vorgenommen.

1883.

November.	Bodentemperatur in 15 cm Tiefe.							
	Lehm.	3/4 Lehm + 1/4 Humus.	1/2 Lehm + 1/2 Humus.	1/4 Lehm + 3/4 Humus.	Sand.	3/4 Sand + 1/4 Humus.	1/2 Sand + 1/2 Humus.	1/4 Sand + 3/4 Humus.
1.—5.	7,06	7,23	7,30	7,34	6,97	6,96	7, 20	7,26
6.—10.	7,52	7,60	7,71	7,76	7,39	7,38	7, 62	7,68
11.—15.	3,58	3,82	4,01	4,22	3,19	3,34	3, 93	4,39
16.—20.	1,29	1,65	1,70	1,87	1,58	1,65	1, 84	1,98
21.—25.	2,42	2,68	2,81	2,69	2,37	2,42	2, 65	2,59
26.—30.	2,57	2,99	2,94	3,01	2,98	2,98	2, 96	2,94
Mittel:	4,07	4,33	4,41	4,48	4,08	4,12	4,37	4,47

Zieht man zunächst die Beobachtungen während der wärmeren Jahreszeit in Betracht, so ergiebt sich, dass der Einfluss der Humusstoffe auf die Bodentemperatur in den Pentaden- und Monatsmitteln ein sehr schwacher war. Bei dem Lehm machte sich die Tendenz zum Aufsteigen, bei dem Quarzsand zum Sinken der Temperatur mit zunehmendem Humusgehalt bemerkbar, aber die bezüglichen Unterschiede sind sehr gering. Dass dennoch im Gange der Bodenwärme erhebliche Unterschiede vorhanden sein mussten, geht unzweideutig aus den die Oscillationen der Temperatur betreffenden Zahlen hervor, welche zeigen, dass die Temperaturschwankungen in dem Maasse vermindert werden, als der Humusgehalt in dem Boden zunimmt. Es müssen demnach in der Bodenerwärmung Eigenthümlichkeiten obwalten, welche in den Durchschnittswerthen nicht zum Ausdruck kommen. In der That ist dies der Fall, wie ein auch nur flüchtiger Blick auf die folgende Tabelle lehrt, in welcher die Morgen- und Abendbeobachtungen getrennt aufgeführt sind.

Bodentemperatur in 15 cm Tiefe.

Juli 1883.	Lehm.		3/4 Lehm + 1/4 Humus.		1/2 Lehm + 1/2 Humus.		1/4 Lehm + 3/4 Humus.	
	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.
1.—5.	18,12	25,04	18,52	24,17	19,16	24.44	20,12	23,72
6.—10.	19,48	25,24	19,72	25,08	20,22	24,62	20,96	24,10
11.—15.	19,02	23,46	19,00	22,90	19,32	22,62	19,84	22,50
16.—20.	13,98	16,10	14,42	16,08	14,60	16,08	14,98	16,16
21 —25.	14,32	17,32	14,78	17,10	14,88	16.98	15,14	16,82
26.—31.	13,59	17,15	14,03	16,67	14,18	16,62	14,56	16,58
Mittel:	**16,38**	**20,60**	**16,67**	**20,31**	**16,97**	**20,11**	**17,49**	**19,87**
Differenz:	4,22		3,64		3,14		2,38	

Juli 1883.	Quarzsand.		³/₄ Quarzsand + ¹/₄ Humus.		¹/₂ Quarzsand + ¹/₂ Humus.		¹/₄ Quarzsand + ³/₄ Humus.	
	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.	Morgens.	Abends.
1.—5.	18,72	28,86	19,46	27,74	19,82	27,06	20,56	25,26
6.—10.	19,84	27,66	20,48	26,76	20,82	26,20	21,38	24,82
11.—15.	18,66	24,58	19,08	24,40	19,36	24,12	20,18	23,48
16.—20.	13,60	16,84	14,02	16,80	14,30	16,62	14,92	16,38
21.—25.	14,12	18,80	14,34	18,46	14,60	17,94	15,08	17,18
26.—31.	13,62	18,62	13,69	18,47	13,96	17,80	14,59	17,05
Mittel:	**16,38**	**22,40**	**16,73**	**21,99**	**17,04**	**21,50**	**17,66**	**20,58**
Differenz:	6,04		5,26		4,46		2,92	

Diese Zahlen vermitteln die Thatsache, dass das Maximum der Bodentemperatur (Abends) um so höher gelegen ist, je weniger Humus der Boden enthält, und dass hingegen das Minimum der Bodentemperatur (Morgens) einen um so grösseren Werth annimmt, je grösser der Humusgehalt des Bodens ist[1]). Da sich nun die Bodenerwärmung bei dem Wechsel der Witterung und der Jahreszeiten ebenso gestaltet, je nachdem die Temperatur steigt oder fällt, so wird ganz allgemein der Satz aufgestellt werden können, dass bei steigender und höherer Temperatur, der Boden sich um so schwächer erwärmt, und umgekehrt bei sinkender und niedriger Temperatur die Abkühlung in demselben um so langsamer erfolgt, je grösser die in dem Erdreich enthaltenen Humusmengen sind. Je nach äusseren Umständen wird die Abänderung der Bodenwärme bei einem verschiedenen Humusgehalt eine sehr wechselnde sein, doch wird dieselbe in der Weise in die Erscheinung treten, dass im Allgemeinen bei heisser Witterung die Bodentemperatur deprimirt, bei kalter Witterung erhöht wird[2]) in dem Maasse, als der Humus in dem Boden in grösseren Mengen auftritt. Nach alledem haben die Humusstoffe für die Bodenerwärmung die Bedeutung, ***dass sie die Ungleichheiten in der Bodentemperatur bei dem Wechsel der äusseren maassgebenden Factoren innerhalb gewisser Grenzen ausgleichen und die grellen Schwankungen in der Bodenwärme beträchtlich vermindern.***

Es erübrigt nunmehr noch, der Frage näher zu treten, ob die durch Beimischung von gewissen Humusmengen herbeigeführte dunklere Färbung auf die Erwärmungsfähigkeit des Bodens vortheilhaft einwirken könne[3]). Es wird dies der Fall sein, sobald der Gehalt an organischen Substanzen eine gewisse Grenze nicht überschreitet, d. h. wenn durch Beimengung von Humus weder die specifische Wärme des Bodens wesentlich erhöht, noch die Wärmeleitung vermindert wird. Ist der Humusgehalt aber so gross, dass er für das physikalische Verhalten des Bodens in bezeichneter Richtung mitbestimmend wird, dann kann, wie oben gezeigt, der heller gefärbte Mineralboden bei höherer und steigender Temperatur günstigere Wärmeverhältnisse aufweisen, also der Einfluss der Farbe vollständig beseitigt werden.

---

[1]) Aus diesen Gründen vermindert sich die Differenz zwischen dem Minimum und dem Maximum der Bodentemperatur mit wachsendem Humusgehalt des Erdreiches.

[2]) Vergl. die Temperaturbeobachtungen für den November 1883.

[3]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. I. 1878. S 43.

c) *Die Bodengahre* kann füglich im Anschluss an die vorstehenden Mittheilungen insofern näher besprochen werden, als dieselbe einen Zustand des Culturlandes darstellt, dessen Herbeiführung vornehmlich der Mitwirkung der organischen Bestandtheile desselben zugeschrieben wird und welcher auf eine für das Wachsthum der Pflanzen günstige Abänderung sowohl der chemischen als auch der physikalischen Eigenschaften des Ackerlandes zurückgeführt wird. So verschieden auch die Schilderungen von dem mit „Ackergahre" bezeichneten Zustand sind, so betrifft doch der Sinn derselben eine und dieselbe Erscheinung, nämlich einen gewissen Lockerheits- und Feuchtigkeitsgrad der gebundenen Böden nach frischer Düngung oder nach dem Umbruch der Stoppel- und Gras- resp. Kleenarbe. Der Boden erscheint mürbe und krümelig, ist für Luft leicht zugänglich, zeichnet sich durch gleichmässigen und normalen Feuchtigkeitsgehalt aus und ist mehr oder weniger reichlich mit den für das Gedeihen der Nutzgewächse erforderlichen Nährstoffmengen versehen.

Für die Umwandlung des Culturlandes in der geschilderten Weise wird vielfach eine Selbstlockerung desselben in Anspruch genommen, welche auf einer geförderten Zersetzung der humosen Bestandtheile oder der Düngemittel organischen Ursprungs und den Wirkungen der hierbei in grösseren Mengen gebildeten Kohlensäure beruhen soll. Ein solches Aufblähen des Bodens wäre aber nur dann möglich, wenn letzterer, wie in einem Brodteig eine zähe, den Austritt der Kohlensäure hindernde Masse darstellte. Da dies jedoch nicht der Fall ist, die Ackererde in Folge der zur Herbeiführung der Gahre erforderlichen Lockerung eine Beschaffenheit besitzt, welche gerade das Entweichen der Kohlensäure an die Atmosphäre ungemein erleichtert, so muss die Annahme einer Selbstlockerung des Bodens als eine widersinnige bezeichnet werden. Es zeigt sich im Gegentheil, wie die praktische Erfahrung lehrt und durch verschiedene Versuche[1]) überdies ziffermässig nachgewiesen wurde, dass die lockere Ackererde, wenn sie einige Zeit nicht bearbeitet wurde, durch den Druck der oberen auf die unteren Schichten, namentlich aber durch die mechanischen Wirkungen des Regenwassers sich stetig in ihrem Volumen vermindert und daher fester zusammensetzt, derart, dass vielfach eine öftere Bearbeitung des Landes, wenn es unbedeckt ist, behufs Erhaltung seines Lockerheitsgrades notwendig ist.

Bei näherem Eingehen auf diese Verhältnisse, besonders in Rücksicht auf die an einer anderen Stelle (S. 175) geschilderte Thatsache, dass in dem nackten oder mit einer Düngerdecke versehenen Boden sich in Folge vergleichsweise höherer Temperatur und grösseren Feuchtigkeitsgehaltes die Zersetzung der organischen Stoffe sich schneller und intensiver vollzieht, als in dem Falle, wo der Boden mit lebenden Pflanzen bedeckt ist, ergiebt sich ohne Weiteres, dass die sogen. Ackergahre einen vorzugsweise durch *Brachehaltung* oder Bedeckung mit leblosen Gegenständen und durch nachfolgende *rechtzeitige Lockerung* mittelst Pflug und Exstirpator hervorgerufenen, für die Zersetzung der humosen Bestandtheile oder des zugeführten Stalldüngers günstigen physikalischen Zustand der Ackererde bezeichnet.

Dass die Brachehaltung die nächste Bedingung zur Herbeiführung der sogen. Ackergahre ist, geht schon aus den diesbezüglichen Angaben der landwirthschaftlichen

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XII. 1889. S. 31.

Schriftsteller hervor, welche ohne Ausnahme der Meinung sind, dass die Gahre niemals in kurzer Zeit durch blosse Bearbeitung sich erzwingen lasse, sondern dass ihr Eintritt einen grösseren oder geringeren Zeitraum in Anspruch nehme. Das Ackerland muss also einige Zeit ruhen, ehe es die für die Gahre geeignete Beschaffenheit annimmt. In welcher Weise hierbei die Naturkräfte wirken, möge an einem Beispiel dargelegt werden.

Man denke sich einen Kleegrasstoppel auf einem schweren Boden. Letzterer ist in Folge der starken Verdunstung durch die Pflanzen, sowie in Folge von Dürre stark ausgetrocknet, derart, dass es unmöglich ist, mit dem Pfluge in das feste Erdreich einzudringen. Das Ackerland soll nun, Ende Juni angefangen, bis zum Herbst in einen „gahren" Zustand übergeführt werden. Unter solchen Umständen wird es zweckmässig erscheinen, nach dem von *Schwerz* und später von *von Rosenberg-Lipinski* empfohlenen Verfahren das Ackerland ganz flach zu schälen, um die Pflanzendecke zu vernichten. Dabei bildet sich auf der Oberfläche des Ackerlandes eine mit vielen sogen. nichtcapillaren Hohlräumen, sowie mit abgestorbenen Pflanzentheilen versehene Schicht, welche die später erfolgenden Regen leicht durchlässt, bei eintretender Trockenheit aber die Verdunstung bedeutend herabdrückt. Der Boden wird also unter der obersten Schicht, namentlich wenn für Lockerheit derselben durch Eggen je nach Bedürfniss Sorge getragen wird, mit der Zeit feuchter. Während man Anfangs mit einem Stock nicht in den Boden eindringen konnte, weil derselbe in Folge der Trockenheit fest war, ist dies nun möglich geworden, aber nicht, wie *von Rosenberg-Lipinski* annimmt, weil der Boden sich unter der Deckschicht selbst gelockert hat, sondern weil er feucht geworden ist und in diesem Zustande keinen erheblichen Widerstand mehr leistet[1]).

Ist die Durchfeuchtung bis in grössere Tiefen vorgeschritten, so wird das Ackerland im normal feuchten Zustande, d. h. bei demjenigen Feuchtigkeitsgehalt, bei welchem es den geringsten Zusammenhang (Cohärescenz) zeigt, gepflügt, am besten in möglichst schmalen Furchen und bis zur vollen Tiefe, und dadurch in einen krümeligen Zustand übergeführt, der, wenn er durch stärkere Regengüsse Schaden leidet, durch Anwendung der hierzu besonders geeignet erscheinenden Grubber (Exstirpatoren) zu erhalten versucht wird. Dem Boden ist also durch die Brachehaltung und durch die obenauf liegende, die Verdunstung hemmende Schicht indirect das ihm fehlende Wasser zugeführt und durch rechtzeitige Bearbeitung die Krümelstructur gegeben worden. Er erhält sich in der Folge mehr oder weniger constant feucht, weil die Brachehaltung im Verein mit der krümeligen Beschaffenheit des Erdreiches einer stärkeren Austrocknung desselben Einhalt thut. Die organischen Substanzen, sowohl die ursprünglich vorhandenen, als die bei dem Pflügen zugeführten (Stalldünger), können sich nunmehr schnell zersetzen und bis zu der Zeit, wo die Winterfrucht angebaut wird, eine grössere Menge von löslichen Pflanzennährstoffen liefern, denn der Boden befindet sich in dem günstigsten physikalischen Zustande: er ist für Luft leicht zugänglich, und ausserdem feucht, da er keine Pflanzendecke trägt. Auf diese Weise erfährt der Boden nicht allein eine durchgreifende Verbesserung seiner mechanischen Beschaffenheit, resp. seines Feuchtigkeitsgehaltes, sondern auch eine solche bezüglich seines Reichthums an assimilirbaren Nährstoffen.

[1]) *H. Puchner.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XII. 1889. S. 208.

Durch die vorstehenden Erörterungen sind die Bedingungen zu dem Zustandekommen des für den Verlauf der organischen Processe vortheilhaftesten Zustandes des Ackerlandes gekennzeichnet. Diese Bedingungen haben Giltigkeit nicht allein für den angenommenen, sondern für alle Fälle, wo es sich um rationelle Cultur der Vegetationsschicht handelt. Ihre Herbeiführung wird zwar auf bündigen Böden, d. h. thonhaltigen und ähnlich beschaffenen Bodenarten, welche allein zur Krümelbildung geneigt sind, das grösste Interesse beanspruchen, aber auch auf leichten nicht krümelnden Böden wird es sich unter Umständen räthlich erweisen, durch dieselben Maassnahmen den Feuchtigkeitsgehalt und die Erwärmung des Erdreiches zu fördern und dadurch nach der Bezeichnungsweise der Praktiker eine „Gahre" auch auf solchen Böden hervorzurufen.

So lange in den Kreisen der praktischen Landwirthe über die Wirkungen der Pflanzendecke und der Brache auf die bei der Zersetzung der organischen Stoffe betheiligten Factoren die verworrensten und den thatsächlichen Verhältnissen widersprechende Anschauungen gepflegt und die Ergebnisse zahlreicher diesbezüglicher Untersuchungen unbeachtet gelassen werden, ist es auch nicht möglich, in die betreffenden Vorgänge einen klaren Einblick zu gewinnen. Wohl bei keinem Gegenstande der Landwirthschafts-Wissenschaft ist ein grösserer naturwissenschaftlicher Unsinn zu Tage gefördert worden, wie gerade bei dem in Rede stehenden. Erklärlich wird dies dadurch, dass man von der vollständig irrigen und aus der Luft gegriffenen Ansicht ausging, dass die Pflanzendecke den Boden feucht erhalte, während derselbe durch die Brache ausgetrocknet werde (S. 168). Unter derartigen Umständen war es natürlich nicht möglich, die durch die Brachehaltung geförderte Zersetzung der organischen Stoffe und die Lockerung der Ackererde in einfacher Weise zu erklären, und man musste seine Zuflucht zu der Hypothese nehmen, dass die Lockerung des Bodens durch Verdichtung von Wärme (!), Luft und Feuchtigkeit herbeigeführt werde, selbst in solchen Fällen, wo der Boden keine Bearbeitung erhalten hat und sich im natürlichen Gefüge befindet. Wenn man berücksichtigt, dass die Bestandtheile der Atmosphäre und die Feuchtigkeit nur von einem bereits lockeren Boden in grösseren Mengen adsorbirt werden, dass der aus der Luft aufgenommene Wasserdampf gar nicht zur Durchfeuchtung der Ackererde beiträgt, weil derselbe bei steigender Temperatur wieder abgegeben wird [1]), so bleibt es unbegreiflich, wie in einem festen, oberflächlich gelockerten (geschälten) Boden eine Verdichtung von Luft und Feuchtigkeit oder in dem gelockerten aber trockenen Boden eine ergiebige Durchfeuchtung desselben, wie solche zur Unterhaltung der organischen Processe nothwendig ist, zu Stande kommen soll.

Gleichergestalt entsprechen die Ansichten über die sogen. „Beschattungsgahre" nicht den thatsächlichen Verhältnissen. Indem man nämlich von der irrthümlichen Auffassung ausging, dass die Pflanzendecke die Ackererde feucht erhalte, glaubte man hieraus die Schlussfolgerung ableiten zu dürfen, dass nunmehr die Zersetzung der organischen Stoffe in dem bebauten Lande besonders gefördert und damit der Selbstlockerung des Erdreiches Vorschub geleistet werde. Wie oben (S. 175) gezeigt wurde, machen sich in Wirklichkeit gerade die entgegengesetzten Erscheinungen geltend, indem in Folge der Austrocknung des Bodens durch die

---

[1]) Siehe S. 258 und *S. Sikorsky*. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. IX. 1886. S. 413.

Gewächse im Verein mit der niedrigen Temperatur die Intensität der organischen Processe in dem Boden bedeutend herabgedrückt wird. Wenn es überhaupt möglich wäre, könnte also der lockere Zustand des Bodens unter einer dichten Pflanzendecke nicht durch eine „Gährung“ hervorgerufen werden. Eine Zunahme des Lockerheitsgrades des Bodens unter den Pflanzen wird überhaupt nicht constatirt werden können, sondern nur eine Erhaltung desselben in mehr oder minderem Grade. Sowohl in dem durch Pflanzen beschatteten wie in dem brachliegenden Boden vermindert sich der bei der mechanischen Bearbeitung vor der Saat hervorgebrachte Lockerheitszustand, im ersteren Fall jedoch bei Weitem nicht in dem Maasse wie im letzteren, und um so weniger, je üppiger sich die Pflanzen entwickelt haben und je dichter sie stehen[1]. Die Ursache dieser Erscheinung ist darauf zurückzuführen, dass durch die Pflanzendecke die eine Zerstörung der Structur der Ackererde veranlassenden Wirkungen der atmosphärischen Niederschläge wesentlich abgeschwächt werden. Das zunächst auf die Pflanzen niederfallende Wasser tröpfelt von diesen mit verminderter Kraft auf den Boden, während die Niederschläge auf den unbedeckten direct einwirken, eine Lostrennung der Theilchen in den Krümeln und schliesslich eine Verdichtung der Bodenmasse bewirken. Ausserdem hält sich das Wasser länger an den Pflanzen, ehe es zum Boden gelangt, wodurch das Aufweichen und Auseinanderfallen der Erdbröckchen verzögert wird. Von einer durch die Pflanzen veranlassten Gährung und einer damit verknüpften Auflockerung des Bodens (Beschattungsgahre) kann nach alledem keine Rede sein, sondern nur von einer Erhaltung des ursprünglichen günstigen mechanischen Zustandes der Ackererde in Folge des durch die Pflanzendecke der letzteren gewährten Schutzes gegenüber den die Structur zerstörenden Einflüssen der atmosphärischen Niederschläge.

d) Der schädliche Einfluss übermässiger Humusmengen auf die Fruchtbarkeit des Bodens wird vornehmlich auf die unter solchen Verhältnissen stattfindenden grösseren Wasseransammlungen und deren Folgen (Beschränkung des Luftzutrittes) zurückzuführen sein. Die Nachtheile machen sich besonders dann bemerkbar, wenn der Boden nicht bearbeitet wird (Wiesen) oder an der betreffenden Oertlichkeit überhaupt die Bedingungen zur Ansammlung übermässiger Wassermengen (Moore) gegeben sind. In diesem Falle unterliegen die organischen Stoffe der Fäulniss, wodurch, wie oben (S. 8) nachgewiesen wurde, die Bildung assimilirbarer Nährstoffe aus ihnen wesentlich vermindert, jene von dem Pflanzenwachsthum schädlicher Verbindungen (Humussäuren, schwefelsaures Eisenoxydul u. s. w.) dagegen gefördert wird.

e) Die Bedeutung der Humusstoffe für die Bodencultur lässt sich nach den vorstehenden Darlegungen mit hinreichender Sicherheit ermessen. Offenbar sind die Functionen des Humus, sobald derselbe innerhalb der angegebenen Grenzen in den Mineralböden auftritt, von so grosser Bedeutung für das Pflanzenleben, *dass die Erhaltung und Vermehrung des Humusgehaltes in der Mehrzahl der Fälle als eine der wichtigsten Aufgaben der Bodencultur betrachtet werden muss.* Diese Schlussfolgerung erscheint vollkommen berechtigt, wenn man sich die zahlreichen günstigen Wirkungen der Humusstoffe auf die Fruchtbarkeit des Bodens ins Gedächtniss zurückruft. Wie gezeigt wurde, wird durch diese Bestandtheile der Reichthum des Bodens direct und indirect an assimilirbaren Pflanzennährstoffen ver-

[1] *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XII. 1889. S. 31.

mehrt und in Folge der langsamen Zersetzung und des ausserordentlichen Absorptionsvermögens der humosen Bestandtheile der Auswaschung von Nährstoffen aus dem Boden in wirksamer Weise vorgebeugt. Weiters wurde nachgewiesen, dass durch Humusbeimengung die Böden lockerer und leichter bearbeitbar, schwere Böden durchlässiger, leichte feuchter, dass die Sickerwassermengen in letzteren dadurch vermindert und die Erwärmungsverhältnisse durch Abschwächung der Temperaturextreme in günstiger Weise abgeändert werden. Man braucht sich nur alle diese Einwirkungen zu vergegenwärtigen, um zu begreifen, dass in der That ein gewisser höherer Humusgehalt des Bodens behufs Erzielung von Maximalerträgen unbedingt nothwendig ist. Damit wird gleichzeitig die Bedeutung aller ***Düngemittel organischen Ursprungs*** (Stall-, Compost-, Gründünger u. s. w.) gekennzeichnet. Da nur mit Hilfe dieser dem Erforderniss, die humosen Bestandtheile des Ackerlandes zu erhalten und zu vermehren, Genüge geleistet werden kann, ***so sind dieselben als Haupt- und als Düngemittel zu betrachten, welche in dem angedeuteten Sinne für die Ackercultur unentbehrlich sind.*** Man wird zwar auf stark humosen Bodenarten derselben nicht benöthigen, und durch ausschliessliche Anwendung der künstlichen Dünger die Fruchtbarkeit des Culturlandes unter solchen Umständen auf dem höchsten Maass erhalten können, unter allen übrigen Verhältnissen, welche die überwiegende Mehrzahl ausmachen dürften, wird man indessen den höchsten Ertrag nur dann erzielen können, wenn man durch ausgedehnte Benutzung von Dungsorten, welche reich an organischen Stoffen sind, oder durch andere hierzu geeignete Maassnahmen eine Bereicherung des Ackerlandes an humosen Bestandtheilen herbeiführt.

Die Nichtbeachtung dieser Grundregel und die forcirte Anwendung künstlicher Düngemittel, welche nach Vorstehendem nur als Beidünger zu betrachten und als solche nur bestimmt sind, mit ihrer Hilfe gewisse Unzulänglichkeiten in der Beschaffenheit der Hauptdünger in Rücksicht auf die chemischen Eigenschaften des Bodens und auf die Anforderungen der anzubauenden Gewächse auszugleichen, haben dazu geführt, dass in vielen Gegenden die Ertragsfähigkeit sonst fruchtbarer Ackerländereien trotz reichlichen Nährstoffvorrathes wesentlich zurückgegangen ist. Die Ursache hiervon ist nun nicht allein in der Verarmung des Bodens an organischen Stoffen und der damit verbundenen Verschlechterung der chemischen und physikalischen Eigenschaften desselben, sondern ausserdem auch darin zu suchen, dass die in den künstlichen Düngemitteln enthaltenen leicht löslichen Salze ungünstige Structurverhältnisse der Ackerkrume herbeiführen können. Letzteren Punkt anlangend, ist den Versuchen von *A. Mayer*[1]) und *E. W. Hilgard*[2]) zu entnehmen, dass kohlensaure und phosphorsaure Alkalien zu einer dichten Lagerung der Bodentheilchen Veranlassung geben und die Krümelbildung hindern, sowie dass die Chloride (in den Stassfurter Kalisalzen) und Nitrate (Chilisalpeter) zwar letztere unterstützen, so lange sie sich in der Bodenlösung vorfinden, dass sie aber, sobald sie durch das in die Erde eindringende Wasser ausgewaschen werden — was um so leichter von Statten geht, als die meisten bezeichneten Salze nicht absorbirt werden —, ein nachträgliches Dichtschlämmen der Ackererde verursachen[3]), welches zu fast vollständiger Undurchlässig-

---

[1]) *A. Mayer.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. II. 1879. S. 251.

[2]) *E. W. Hilgard.* Ebenda. Bd. II. 1879. S. 441.

[3]) *A. Mayer.* Journal für Landwirthschaft. Jahrg. XXVII. 1879. S. 389.

keit für Luft und Wasser und somit zu einer bedeutenden Verminderung der Fruchtbarkeit derselben führen kann. Deutlich treten beispielsweise diese ungünstigen Aenderungen in der mechanischen Beschaffenheit der thonhaltigen Bodenarten bei wiederholter und einseitiger Salpeterdüngung in die Erscheinung. „Ein in dieser Weise forcirter Boden giebt bekanntlich im Anfang schöne Ernten, zeigt dann einen plötzlichen Zurückgang, einen Zurückgang, welcher sich nach dem Urtheil gewiegter Praktiker nicht einfach wie beim Sandboden durch eine allerseits vollständige Düngung wieder heben lässt. Der Boden ist für lange Zeit mechanisch ruinirt und die in landwirthschaftlichen Dingen weitblickenden Engländer haben darum die Salpeterdüngung in Verruf erklärt“ *(A. Mayer).* Ebenso verhalten sich die salzsauren Salze.

Die ausschliessliche oder bevorzugte Anwendung künstlicher Düngemittel ist sonach nach zwei Richtungen von nachtheiligem Einfluss für die Fruchtbarkeit namentlich der thonreichen und feinkörnigen Bodenarten, und zwar insofern, als bei einem derartigen Verfahren die Ackerländereien an Humus verarmen, indem dieser sich allmählich zersetzt, und die mechanische Beschaffenheit derselben in der angegebenen Weise eine unter Umständen sehr ungünstige Abänderung bezüglich der Zersetzung der organischen Stoffe resp. des Pflanzenwachsthums erfährt. Diesen Mängeln kann nur dadurch abgeholfen werden, dass mittelst hierzu geeigneter Maassnahmen für eine Erhaltung und Vermehrung des Humusgehaltes des Ackerlandes Sorge getragen wird.

Was schliesslich die Fälle anlangt, wo ein Uebermaass an humosen Bestandtheilen sich von schädlicher Einwirkung auf das Wachsthum der Nutzpflanzen erweist, so wird danach getrachtet werden müssen, entweder den Ueberschuss zu beseitigen oder die ungünstigen Eigenschaften der betreffenden Humusbildungen in einer den Anforderungen der Culturgewächse entsprechenden Weise zu ändern. Ueber die hierbei zu Gebote stehenden Mittel sind die Ausführungen im dritten Theil dieses Buches zu vergleichen.

B. Der Humus als Bodendecke.

a) Die Bildung der Streudecke. In dem Walde bildet sich aus den Abfällen des Bestandes (Blätter, Nadeln, Zweigen, Knospenschuppen, Zapfen, Moosen, Gräsern, Krautpflanzen, Halbsträuchern u. s. w.) eine Bodendecke, welche durch Zersetzung der betreffenden abgestorbenen Pflanzen und Pflanzentheile allmählich eine mehr oder weniger humose Beschaffenheit annimmt. Die Bildung einer solchen Streuschicht ist von verschiedenen äusseren Umständen abhängig und findet bei den verschiedenen Waldpflanzen in einem verschiedenen Grade statt.

Unter den äusseren Einflüssen erweisen sich besonders die chemische und physikalische Beschaffenheit des Bodens und die klimatischen Verhältnisse als maassgebend für die auf der Oberfläche des Bodens sich ansammelnden Streumassen. Auf kräftigen, nährstoffreichen, tiefgründigen und feuchten Böden sind nicht nur die Kronen der Bäume besser ausgebildet, sondern auch die Blätter und Nadeln, welche die wesentlichsten Bestandtheile der Streudecke ausmachen, grösser und üppiger entwickelt als auf mageren und trockenen Böden, vorausgesetzt, dass der Bestandesschluss nicht zu dicht und die Belichtung nicht eine beschränkte ist. Von nicht minderem Belang sind die klimatischen Verhältnisse für die Ausbildung der Belaubung, denn unter sonst gleichen Umständen ist diese um so besser, je grösser inner-

halb gewisser Grenzen die atmosphärischen Niederschläge sind und je wärmer das Klima ist. Letzteres spricht sich z. B. deutlich in der von *R. Weber*[1]) festgestellten Thatsache aus, dass die Buchenblätter an Grösse abnehmen, je höher der Ort über dem Meeresspiegel liegt, wie aus folgenden Zahlen ersichtlich ist:

Standort.	Meereshöhe. m.	Gesammtfläche von 1000 Blättern. qm.
Aschaffenburg	133	3,414
Hohenau (bayer. Wald)	685	1,500
„ „	1344	0,910.

Andererseits ist der Grad und die Stärke der Belaubung durch die Natur der einzelnen Holzarten bedingt. Die lichtbedürftigen Bäume (Eiche, Kiefer, Lärche und Birke) besitzen eine lichtere Krone und sind daher weniger belaubt als die schattenvertragenden Bäume (Rothbuche, Weissbuche, Weisstanne und Fichte). Schliesslich ist auch die Zersetzungsfähigkeit der Blätter resp. der Nadeln auf die Ansammlung der Abfälle von Einfluss. Fleischigere Blätter zersetzen sich schneller als z. B. jene der Buchen oder Eichen, während die Nadelstreu am langsamsten dem Zerfall unterliegt.

Die Bildung einer stärkeren Streudecke aus den Abfällen der Waldbäume selbst findet in der Regel nur in Buchenwäldern und in jüngeren Beständen geschlossener Nadelhölzer, in beschränkterem Maasse unter Weissbuchen, Eichen und Birken statt. Im höheren Alter nehmen in den Nadelwäldern Gräser, Halbsträucher (Haide, Beerkraut) und besonders die Moose an der Bildung der Streudecke und zwar häufig in einem überwiegenden Grade Theil. Je nach dem Feuchtigkeitsgehalt des Waldbodens treten verschiedene Moose auf; an stark feuchten Stellen Sphagnum und Polytrichum, an frischen Polytrichum und Hypnum, an mageren und lichten Dicranum. Im Gebirge ist die Moosbildung meist viel üppiger als in der Ebene. Ebenso ist der Mooswuchs in den frischen Weisstannen- und Fichtenwaldungen in sehr vielen Fällen ungleich grösser, als in den lichteren und trockneren Kiefern- und Lärchenbeständen.

In Rücksicht auf die Mannigfaltigkeit der Factoren, von welchen die Grösse des Blatt- und Nadelabfalls, sowie die Bildung der Moosdecke beherrscht wird, kann es nicht Wunder nehmen, dass die Menge der jährlich dem Boden zugeführten Pflanzenreste an den einzelnen Oertlichkeiten eine sehr verschiedene ist. Man wird daher, um wenigstens einen annähernden Anhalt in dieser Richtung zu gewinnen, sich mit Durchschnittszahlen aus vieljährigen unter verschiedenen Verhältnissen vorgenommenen Bestimmungen begnügen müssen. Solche Versuche wurden z. B. auf Veranlassung von *E. Ebermayer*[2]) in den bayerischen Staatsforsten angestellt und lieferten folgendes Ergebniss:

---

[1]) *E. Ebermayer.* Die gesammte Lehre der Waldstreu. Berlin. 1876. S. 39.

[2]) *E. Ebermayer.* a. a. O. S. 44.

Holzbestände.	Jährlicher Streuanfall[1]) in kg pro ha.		
	Minimum.	Maximum.	Durchschnitt.
In Buchenbeständen			
in Mittelhölzern von 30—60 Jahren	2998	6396	4182
in angehend haubaren Beständen von 60—90 Jahren	3269	5180	4094
in haubaren Beständen über 90 Jahre	2852	5032	4044
In Fichtenbeständen			
in Junghölzern unter 30 Jahren	4110	6407	5258
in Mittelhölzern von 30—60 Jahren	1157	6090	3964
in angehend haubaren Beständen von 60—90 Jahren	1962	6016	3376
in haubaren Beständen über 90 Jahre	1685	6864	3273
In Kiefernbeständen			
in Mittelhölzern von 25—50 Jahren	2101	4230	3397
in angehend haubaren Beständen von 50—75 Jahren	2512	4055	3491
in haubaren Beständen von 75—100 Jahren	2787	6038	4229

Bei der Entnahme der Streu in mehrjährigen Perioden nimmt die Streumenge relativ um so mehr ab, je länger die betreffende Periode ist, d. h. die jeweilige Streumenge ist nicht das der Zahl der Jahre entsprechende Vielfache des jährlichen Streuanfalls, sondern von einem geringeren Betrage. Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass durch Zersetzung organische Stoffe verflüchtigt werden und zwar in um so grösserer Menge je länger der Zeitraum zwischen den einzelnen Streunutzungen ist. Ueber die Grösse der betreffenden Unterschiede in dem Streuertrage, gleichzeitig im Zusammenhalt mit dem Streuvorrath in geschonten Beständen geben folgende von *E. Ebermayer*[2]) ermittelte Daten Auskunft.

Holzbestände.	Streuertrag pro ha in kg.			
	Jährlicher.	Dreijähriger.	Sechsjähriger.	In geschonten Beständen.
In gut geschlossenen Buchenbeständen	4107	8160	8460	10417
„ „ „ Fichtenbeständen	3537	7591	9390	13857
„ „ „ Kiefernbeständen	3706	8987	13729	18279

Diese Zahlen zeigen zunächst, dass bei einem drei- und sechsjährigen Turnus nicht die drei- resp. sechsfache rechbare Streumenge gewonnen wird, sondern bei dem Buchenlaub bei dreijähriger Nutzung nur die doppelte, bei sechsjähriger nicht viel mehr als bei dreijähriger, bei der Fichtenstreu im dreijährigen Ertrage die 2,2 und im sechsjährigen Ertrage die 2,7fache, während bei der Kiefernstreu sich diese Werthe auf das 2½ resp. 3fache stellen. Aus diesen Daten wird gefolgert werden dürfen, dass zur Zersetzung des Buchenlaubes oder zum Uebergang desselben in Humus durchschnittlich drei Jahre erforderlich sind. „Deshalb kann die Streumenge im 6jährigen Turnus auch nicht viel grösser sein als im 3jährigen, denn man findet nach 6 Jahren nur noch den Streuanfall der beiden letzten Jahre vor, die älteren Blätter sind zum grössten Theil schon in Humus übergegangen oder auch theilweise ganz zersetzt.“ In Bezug auf die Fichtenstreu ergiebt sich, dass die Verwesung derselben fast ebenso schnell wie die des Buchenlaubes stattfindet, und dass

[1]) Lufttrockene Streu.

[2]) *E. Ebermayer.* a. a. O. S. 52.

demgemäss der sechsjährige Streuertrag nur etwa doppelt so gross sein sollte als der jährliche. Wenn aber, wie die Zahlen zeigen, jener das dreifache von letzterem ausmacht, so kann dies nur darauf beruhen, dass die Streu im sechsjährigen Turnus nicht nur die Nadeln, sondern auch das Moos enthält, welches sich innerhalb dieses Zeitraumes gebildet hat. Schliesslich ergiebt sich aus den angeführten Unterschieden, dass die Zersetzung der Kiefernnadeln langsamer erfolgt als jene der Fichtennadeln und des Buchenlaubes, denn es sammelt sich nach 3 Jahren nicht die doppelte, sondern die 2½fache Menge des jährlichen Nadelabfalles an. Diese Thatsache spricht dafür, dass die Kiefernnadeln im Mittel 3⅓ Jahre brauchen, um in Humus überzugehen. Die relative Steigerung des sechsjährigen Ertrages gegenüber dem dreijährigen bei der Kiefernstreu ist, gleichergestalt wie bei den Fichtennadeln, auf die in der Zwischenzeit stattfindende Moosbildung zurückzuführen.

In geschonten Beständen betrug der Streuvorrath bei Buchen die 2½fache, bei Fichten die 4fache und bei Kiefern die 5fache Menge des jährlichen Laub-, bezw. Nadelabfalles.

b) Die chemische Zusammensetzung der Waldstreu. Unter den organischen Bestandtheilen, welche in einer Menge von 78—86% in der Streu, bezogen auf die vollkommen lufttrockene Substanz, auftreten, bilden die stickstofffreien Stoffe (Holzfaser, Kohlehydrate, Fette, Pflanzensäuren, Extractivstoffe u. s. w.) die Hauptmasse der Trockensubstanz, während die stickstoffhaltigen organischen Verbindungen jenen gegenüber wesentlich zurücktreten. Nach den vorliegenden spärlichen Untersuchungen von *H. Krutzsch*[1]) und *R. Hofmann*[2]) enthalten die Streumaterialien in der völlig trockenen Substanz in Procenten

Stickstoff.							
Buchen-blätter.	Eichen-blätter.	Fichten-nadeln.	Kiefern-nadeln.	Lärchen-nadeln.	Moose. Hypnum.	Polytrichum.	Climarium.
0,80	1,06	1,35	1,89	0,88	0,99—1,81	1,07	1,69.

Vergleicht man diesen Stickstoffgehalt der Streumaterialien aus dem Walde mit jenem der bei der Herstellung des Stalldüngers verwendeten Strohsorten, welcher 0,3—0,9, im Mittel 0,6 beträgt, so sieht man, dass erstere an stickstoffhaltigen organischen Bestandtheilen nicht unbeträchtlich reicher sind als letztere.

Eingehendere Untersuchungen als über die organischen Bestandtheile liegen über die Mineralstoffe vor, welche nach den Angaben von *E. Ebermayer*[3]) und *E. Wolff*[4]) in folgenden Mengen in den Streumaterialien des Waldes bezw. in dem Getreidestroh auftreten:

[1]) *H. Krutzsch.* Chemischer Ackersmann. 1866. S. 158 u. 162.
[2]) *R. Hofmann.* Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Bd. I. S. 270.
[3]) *E. Ebermayer.* a. a. O. S. 108.
[4]) *E. Wolff.* Aschenanalysen von landw. Producten. Berlin. 1871.

Streumaterialien.		1000 Theile der bei 100° C. getrockneten Materialien enthalten								
		Reinasche.	Kali.	Natron.	Kalk.	Magnesia.	Eisenoxyd.	Phosphorsäure.	Schwefelsäure.	Kieselsäure.
Buchenlaubstreu	Maximum	99,1	8,31	1,78	34,81	6,92	2,28	5,85	2,54	50,80
„	Minimum	40,3	0,94	0,15	16.99	2.14	0.66	1,43	0,53	5.95
„	Mittel	**55,76**	**2,97**	**0,60**	**24.62**	**3,64**	**1.54**	**3,14**	**1,09**	**18,16**
Fichtennadelstreu	Maximum	101,9	2,42	1,40	38,50	4,19	1,93	3,84	1,18	57,40
„	Minimum	31,1	0,95	0,22	5,36	0.74	0,22	1,26	0,43	3,86
„	Mittel	**45,27**	**1,61**	**0,56**	**20,27**	**2,32**	**0,93**	**2,14**	**0,70**	**16,54**
Weisstannennadeln	Maximum	52,7	4,51	0,68	38,67	3,05	1,70	4,08	1,04	4,97
„	Minimum	19,9	1,06	0,37	6,23	1,18	0,22	2,19	0,78	0,51
„	Mittel	**37,85**	**2,63**	**0,53**	**24,28**	**2,52**	**1,08**	**2,80**	**0,93**	**2,35**
Lärchennadeln, abgefallen		40,0	1,83	0,54	8,79	2,76	1,03	1,50	0,65	22,81
Eichenlaub, abgefallen		43,9	4,03	0,76	17,07	6.02	0,95	2,10	0,75	10,85
Eichenblätter, abgestorben		49,0	1,64	0,30	23,83	1,94	0,30	3,96	2,17	15,17
Kiefernnadelstreu	Maximum	20,0	2,44	1,03	10,31	2,53	1,10	1,54	0,60	2,30
„	Minimum	10,7	0,95	0,19	2,57	0,76	0,13	0.76	0.42	1,39
„	Mittel	**14,65**	**1,52**	**0,64**	**5,95**	**1,51**	**0,49**	**1,16**	**0,53**	**2,06**
Kiefernäste, abgestorbenes	Lescholz	11,91	0,43	0,12	3,69	0,45	0,83	0,30	0,30	3,65
Verschiedene Waldmoose	Maximum	39,2	8,76	2,66	8,23	2,92	2,90	6,16	1,81	9,02
„	Minimum	23,2	6,96	0,67	3,34	1,79	0,64	2.87	1,54	2,17
„	Mittel	**30,98**	**7,61**	**1.42**	**5,47**	**2,51**	**1,82**	**4,78**	**1,65**	**4.88**
Farnkräuter	(Mittel)	67,6	24,05	2.73	8,30	4,69	1,11	5,53	2,35	13,74
Haidekraut	„	20,8	2,68	1,37	4,47	1,95	0,85	1,40	0,85	6,17
Binsen und Simsen	„	55,9	22,05	3,65	4,21	3,56	1,99	5,04	1,56	7,86
Rohrschilf	„	44,7	8,33	0,28	4,06	1,30	0,79	2,76	0,67	24,36
Besenpfriem	„	18,1	6,45	0,40	2,89	2,13	0,84	1,51	0,59	1,68
Winterweizenstroh	„	53,7	7,33	0,74	3,09	1,33	0,33	2,58	1,32	36,35
Winterroggenstroh	„	47,9	9,22	1,03	4,11	1,30	0,50	2,46	1,30	27,01
Gerstestroh	„	48,0	10,97	1,98	3,73	1,25	0,33	2,15	1,78	24,97
Haferstroh	„	47,0	10,40	1,36	4,16	1,90	0,68	2,20	1,45	22,83

Bei Durchsicht dieser Zahlen[1]) erkennt man, dass unter den für die Pflanzenernährung besonders in Betracht kommenden mineralischen Bestandtheilen die alkalischen Erden, vor Allem der Kalk in der Waldstreu vorherrschen, während die Alkalien wesentlich zurücktreten, wie ein Vergleich mit den in der Landwirthschaft verwendeten Streusorten (Getreidestroh) deutlich zeigt, welche mit diesen Bestandtheilen ungleich reicher dotirt, aber an alkalischen Erden beträchtlich ärmer sind. Nur die Waldmoose, dann aber hauptsächlich die Farnkräuter und Binsen machen hiervon eine Ausnahme, denn diese sind, wie die Zahlen zeigen, mit sehr reichlichen Mengen von Kali versehen. Bezüglich des Gehaltes an Phosphorsäure ergeben sich zwischen der Wald- und Strohstreu keine prägnanten Unterschiede.

c) Die physikalischen Eigenschaften der Waldstreu. Für die Beurtheilung einer Reihe praktischer Fragen kommt hauptsächlich das Verhalten der Streumaterialien zum Wasser und zur Wärme in Betracht.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse der Streudecke lassen sich am besten ermessen, wenn dieselben unter möglichst natürlichen Bedingungen, also unter dem ungehinderten Einfluss aller Witterungseinflüsse ermittelt werden. Versuche solcher

[1]) Diese Zahlen gewähren natürlich nur einen ungefähren Anhalt, da die chemische Zusammensetzung der Pflanzen ausserordentlich variirt, je nach den Standortsverhältnissen.

Art wurden vom Verfasser[1]) in sogenannten Lysimetern ausgeführt, welche vor seitlicher Erwärmung geschützt und derart angeordnet waren, dass man die Feuchtigkeitsmengen in den Materialien, sowie die von diesen verdunsteten und abgesickerten Wassermengen leicht feststellen konnte. Die betreffenden Bestimmungen wurden während der Vegetationszeit (vom 1. April bis 30. September) allwöchentlich vorgenommen und lieferten folgende Resultate:

Wassergehalt der Streudecken in Volumprocenten.

Sommerhalbjahr.	Mächtigkeit der Schicht: 5 cm					Mächtigkeit der Schicht: 30 cm.			
	Eichen-laub.	Buchen-laub.	Fichten-nadeln.	Kiefern-nadeln.	Moos.	Eichen-laub.	Buchen-laub.	Fichten-nadeln.	Kiefern-nadeln.
1886	57,26	—	44,75	—	25,43	46,58	40,58	44,02	38,99
1887	44,28	—	33,21	—	24,22	44,26	39,03	39,29	33,57
1888	37,31	31,99	34,13	32,88	31,69	—	—	—	—
Mittel:	**46,28**	—	**37,36**	—	**27,11**	**45,42**	**39,81**	**41,65**	**36,28**

Verschiedene Mächtigkeit der Schicht.

Mächtigkeit der Schicht cm.	Eichenlaub.			Fichtennadeln.			Moos
	1886.	1887.	Mittel.	1886.	1887.	Mittel.	1888.
5	57,26	44,28	**50,77**	44,75	33,21	**38,98**	31,69
10	57,25	48,74	**52,99**	48,71	32,80	**40,76**	41,70
15	—	—	—	—	—	—	46,45
20	51,92	54,27	**53,09**	42,83	39,23	**41,03**	50,10
25	—	—	—	—	—	—	47,61
30	46,58	44,26	**45,42**	44,02	39,29	**41,65**	44,50

Im Allgemeinen lässt sich aus diesen Zahlen folgern,

1. dass das Eichenlaub den höchsten Wassergehalt besitzt, dann folgen in absteigender Reihe die Fichtennadeln-, die Buchenlaub- und die Kiefernnadelnstreu, während das Moos die geringsten Wassermengen in sich einschliesst,

2. dass die betreffenden Unterschiede bei grösserer Mächtigkeit der Streuschicht sich vermindern,

3. dass im Durchschnitt der Wassergehalt der Streu mit der Mächtigkeit der Schicht bis zu einer gewissen Grenze (20 cm) zu-, von da ab aber bei weiterer Erhöhung der Schicht wieder abnimmt.

Aus den Einzelbeobachtungen, welche hier anzuführen der Raumersparniss wegen füglich unterlassen werden kann, ergiebt sich,

4. dass die Schwankungen im Wassergehalt der Streudecken bei wechselnden Witterungsverhältnissen um so geringer werden, je stärker die Schicht ist, und

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. X. 1887. S. 428 und Bd. XIII. 1890. S. 134.

5. dass keine Streusorte bei geringer Mächtigkeit (5—10 cm) einem so bedeutenden Wechsel im Wassergehalt unterliegt wie die Moosstreu.

Da die angeführten Zahlen nicht die Wassercapacität, sondern den Wassergehalt angeben, nachdem einerseits ein Theil des Regenwassers abgesickert, andererseits ein Theil durch Verdunstung an die Atmosphäre abgegeben worden ist, so müssen natürlich beide Momente zur Erklärung der hervorgetretenen Erscheinungen mit herangezogen werden.

Die Sickerwassermengen aus der Streudecke in mm.

Sommerhalbjahr.	Regenmenge.	Mächtigkeit der Schicht: 5 cm.					Mächtigkeit der Schicht: 30 cm.			
		Eichenlaub.	Buchenlaub.	Fichtennadeln.	Kiefernnadeln.	Moos.	Eichenaub.	Buchenlaub.	Fichtennadeln.	Kiefernnadeln.
1886	713,2	439,8	—	444,8	—	374,8	526,3	526,5	486,7	493,3
1887	466,3	197,3	—	216,3	—	181,5	331,8	339,3	347,8	244,6
1888	823,0	528,6	524,8	595,1	529,5	448,3	—	—	—	—
Mittel:	**667,5**	**388,6**	—	**418,7**	—	**334,8**	**429,1**	**427,8**	**417,2**	**368,9**

Verschiedene Mächtigkeit der Schicht.

Mächtigkeit der Schicht cm.	Eichenlaub.			Fichtennadeln.			Moos
	1886.	1887.	Mittel.	1886.	1887.	Mittel.	1888.
5	439,8	197,3	**318,6**	444,8	216,3	**330,6**	448,3
10	487,0	183,8	**335,4**	481,9	183,9	**332,9**	465,0
15	—	—	—	—	—	—	523,2
20	529,0	423,8	**476,4**	488,1	365,3	**426,7**	592,6
25	—	—	—	—	—	—	589,9
30	526,5	431,8	**479,2**	486,7	347,8	**417,3**	580,4

Diesen Zahlen kann entnommen werden,

1. dass bei gleicher atmosphärischer Zufuhr und unter übrigens gleichen Verhältnissen die von Eichen- und Buchenlaub, sowie von Fichten- und Kiefernnadeln in die Tiefe abgegebenen Wassermengen nur wenig von einander verschieden, dass dieselben aber wesentlich grösser sind, als die aus dem Moose abtropfenden,

2. dass die Sickerwassermengen aus der Streudecke mit der Mächtigkeit der Schicht bis zu einer gewissen Grenze (20 cm) zu-, von dieser ab aber bei einer weiteren Erhöhung der Schicht wieder abnehmen.

Die den Verdunstungsverlust betreffenden Beobachtungen bei denselben Materialien lieferten die aus folgenden Tabellen ersichtlichen Resultate:

Verdunstungsmengen aus der Streudecke in mm.

Sommerhalbjahr.	Regenmenge.	Mächtigkeit der Schicht: **5 cm.**					Mächtigkeit der Schicht: **30 cm.**			
		Eichen-laub.	Buchen-laub.	Fichten-nadeln.	Kiefern-nadeln.	Moos.	Eichen-laub.	Buchen-laub.	Fichten-nadeln.	Kiefern-nadeln.
1886	713,2	279,2	—	275,5	—	340,2	167,6	165,0	216,7	198,0
1887	466,3	262,9	—	244,2	—	281,5	108,2	106,9	104,7	205,9
1888	823,0	293,2	301,4	227,6	294,5	380,9	—	—	—	—
Mittel:	**667,5**	**278,4**	—	**249,1**	—	**334,2**	**137,9**	**135,9**	**160,7**	**201,9**

Verschiedene Mächtigkeit der Schicht.

Mächtigkeit der Schicht cm.	Eichenlaub.			Fichtenlaub.			Moos.
	1886.	1887.	Mittel.	1886.	1887.	Mittel.	1888.
5	279,2	262,9	**271,0**	275,5	244,2	**259,8**	380,9
10	225,3	282,2	**253,8**	229,8	279,4	**254,6**	358,2
15	—	—	—	—	—	—	295,5
20	165,8	119,2	**142,5**	191,5	87,3	**139,4**	230,6
25	—	—	—	—	—	—	226,3
30	167,5	108,2	**137,8**	216,7	104,2	**160,4**	224,9

Aus diesen Zahlen lässt sich schliessen,

1. dass die Moosstreu unter allen Streusorten die grössten Wassermengen verdunstet, dann folgt in absteigender Reihe die Kiefernstreu, und dieser die übrigen Streumaterialien mit geringen und wechselnden Unterschieden,

2. dass im Durchschnitt die Verdunstungsmengen um so geringer sind, je mächtiger die Streulage ist, dass aber von einer gewissen Grenze (20 cm) ab mit zunehmender Mächtigkeit die betreffenden Werthe sich stetig nähern.

An der Hand der die Sickerwasser- und Verdunstungsmengen betreffenden Daten wird es nunmehr möglich sein, eine annähernd zutreffende Vorstellung von den Ursachen zu gewinnen, welche den verschiedenen Wassergehalt der Streumaterialien bedingen.

Zunächst geht aus den Zahlen hervor, dass die Sickerwasser- zu den Verdunstungsmengen in einem umgekehrten Verhältniss stehen, derart, dass sie zusammenaddirt fast genau die während der Versuchszeit gefallene Regenmenge ausmachen. Hieraus wird geschlossen werden dürfen, dass für die in der Streudecke auftretenden Wassermengen im Durchschnitt vornehmlich die Wassercapacität in Betracht kommt. Dass diese eine ziemlich hohe ist, ergiebt sich deutlich, wenn man deren Wassergehalt mit dem der mineralischen Böden vergleicht (siehe S. 285). Bei der zum Theil zersetzten oder in Humus übergegangenen Streu werden zweifelsohne die betreffenden Werthe für deren Wassergehalt noch grösser ausfallen als in diesen Versuchen, in welchen frische Streu verwendet wurde und der Zerfall der organischen Stoffe noch nicht weit vorgeschritten war.

Im Uebrigen erweist sich vornehmlich die Verdunstung für die Abnahme, die Durchlässigkeit für die Zunahme des Wassergehaltes während der verschiedenen Zeitabschnitte von Belang. Findet ein Niederschlag statt, so dient das zugeführte Wasser zunächst zum Ersatz des in der vorhergegangenen Zeit verdunsteten Wassers, bei stärkerer Zufuhr bis zu dem Punkt, wo die Materialien entsprechend ihrer physikalischen Beschaffenheit gesättigt sind. Ist diese Grenze überschritten, so sickert das überschüssige Wasser ab. Je grösser die Wassermengen sind, welche auf diese Weise verloren gehen, um so weniger bleibt selbstredend in der Masse zurück.

Im Allgemeinen zeigen nun die mitgetheilten Beobachtungen, dass die Absickerung des Wassers unter sonst gleichen Verhältnissen in den Nadel- und Laubstreusorten viel ergiebiger ist als in der Moosstreu. Hieraus folgt, dass von einer und derselben Niederschlagsmenge von letzterer grössere Wassermengen zurückgehalten werden als von jenen. Wenn trotzdem das Moos weniger Wasser enthielt als die übrigen Streusorten, so kann dies nur darauf beruhen, dass jenes ein stärkeres Verdunstungsvermögen besitzt als diese, was in der That der Fall war. Die Moosstreu verliert in Trockenperioden ungleich grössere Wassermengen als die Laub- und Nadelstreu, und in extremen Fällen nicht selten so viel Wasser, dass ihr Wassergehalt beinahe bis zu demjenigen des lufttrockenen Zustandes herabsinkt. Diese Unterschiede sind hauptsächlich bedingt durch solche in der capillaren Leitung des Wassers. In der Laubstreu, in welcher die Blätter meist eine horizontale Lage annehmen, ist der capillare Auftrieb des Wassers fortwährend unterbrochen, so dass dasselbe nicht an die Oberfläche steigen kann. Die Folge hiervon ist, dass die obersten Blattlagen austrocknen und dadurch eine trockene Deckschicht gebildet wird, welche die weitere Verdunstung in ausserordentlichem Grade herabdrückt, indem sie den directen Einfluss der Verdunstungsfactoren hemmt. Aehnlich verhält sich die Nadelstreu, in welcher durch das Vorhandensein nichtcapillarer Hohlräume das capillare Aufsteigen des Wassers verlangsamt und dadurch die Abtrocknung der oberflächlichen Schichten erleichtert wird. Die Kiefernnadeln, welche sich dabei weniger eng aneinanderlegen als die Fichtennadeln und deshalb besser durchlüftbar sind als diese, verdunsten vergleichsweise mehr Wasser und enthalten wahrscheinlich in Folge dieses Umstandes weniger Wasser gegenüber der Fichtennadelstreu. Was schliesslich die Moose betrifft, so sind diese mit zahlreichen kleinen capillaren Hohlräumen versehen, welche das Wasser gut leiten, so dass der Verdunstungsverlust an der Oberfläche leichter und schneller ersetzt werden kann als bei allen anderen Streusorten.

Die Ursache der Erscheinung, dass der Wassergehalt und die Sickerwassermengen zu-, die Verdunstungsmengen innerhalb einer bestimmten Grenze (20 cm) abnehmen, in dem Maasse, als die Streudecke eine grössere Mächtigkeit besitzt, ist darauf zurückzuführen, dass die feuchtesten Partien um so tiefer liegen, je höher die Streuschicht ist. Bei geringer Mächtigkeit letzterer liegen die wasserreichsten Schichten so nahe der Oberfläche, dass der an derselben stattfindende Verdunstungsverlust leicht durch capillares Aufsteigen des Wassers ersetzt wird, in Folge dessen bedeutend grössere Mengen von Wasser verdunstet werden als bei grösserer Tiefgründigkeit, wo die feuchtesten Schichten so entfernt von der Oberfläche sind, dass die Capillarität entweder gar nicht, oder doch nur unvollkommen zur Wirkung kommen kann. Indem aus diesen Gründen die flachere Streuschicht mehr austrocknet als die tiefere,

müssen die Feuchtigkeitsmengen sowohl als auch die Sickerwassermengen in derselben geringer sein als bei mächtigerer Ablagerung, weil in jener ein grösserer Teil der atmosphärischen Niederschläge zum Ersatz des verdunsteten Wassers verbraucht wird als in letzterem Falle.

Wenn bei dem Ueberschreiten der angegebenen Grenze der Feuchtigkeitsgehalt der Gesammtmasse abnimmt und ebenso die Sickerwassermengen sich vermindern, so beruht dies offenbar darauf, dass die zugeführte Wassermenge sich über eine grössere Schicht verteilt, welche nach unten, weil sehr bedeutende Wassermengen in dem verhältnissmässig grossen Volumen Aufnahme finden, entsprechend der Aufspeicherung nunmehr weniger Wasser abgiebt.

Die Temperaturverhältnisse der Streudecke wurden von dem Verfasser[1]) in der Weise zu eruiren versucht, dass er aus starken Brettern hergestellte Kästen von quadratischem Querschnitt (35:35 cm) und 20 cm Höhe, welche unten offen und bis zum Rande auf einem freien Platz des Versuchsfeldes in die Erde versenkt waren, mit den betreffenden Streumaterialien fest einfüllte und in einer Tiefe von 10 cm die Temperatur täglich um 7^h a. m. und 5^h p. m. feststellte. Behufs des Vergleichs war ein Kasten mit humosem Kalksandboden von feinkörniger Structur beschickt worden. Aus dem umfangreichen Zahlenmaterial mögen folgende Daten hier eine Stelle finden:

1887.	Luft-tempe-ratur.	Temperatur in 10 cm Tiefe.					Temperaturschwankungen.				
		Erde.	Kiefern-nadeln.	Fichten-nadeln.	Eichen-laub.	Moos.	Erde.	Kiefern-nadeln.	Fichten-nadeln.	Eichen-laub.	Moos.
April	7,30	8,89	8,27	8,54	8,50	8,49	10,25	11,25	10,18	10,62	9,90
Mai	9,88	11,82	12,42	11,89	12,46	12,33	9,95	8,52	7,92	7,33	6,50
Juni	15,95	19,28	19,75	20,40	20,72	19,11	12,60	9,13	9,48	9,00	7,83
Juli	19,73	23,03	22,80	24,31	23,40	22,28	11,92	6,30	6,50	5,77	5,07
August	16,28	18,95	19,23	20,26	19,27	18,62	11,90	7,32	6,80	7,33	6,32
September	12,21	15,11	15,56	16,20	15,39	14,85	9,53	5,18	4,55	5,18	4,30
Mittel:	—	**16,18**	**16,34**	**16,93**	**16,62**	**15,95**	**11,02**	**7,95**	**7,57**	**7,54**	**6,65**

Diese Zahlen lassen zunächst erkennen,

1. dass die Erde, mit Ausnahme des Mooses, im Durchschnitt etwas kälter ist als die Streumaterialien,

2. dass sich unter letzteren die Fichtennadeln am stärksten erwärmen, dann folgen in absteigender Reihe das Eichenlaub und die Kiefernnadeln, während die Moosstreu die niedrigste Temperatur aufweist,

3. dass die Temperaturschwankungen in der Waldstreu bedeutend geringer sind als in der Erde.

Im Allgemeinen zeigen die Zahlen relativ geringe Unterschiede in den Temperaturverhältnissen zwischen Erde und Streumaterialien. Besonders auffallend dürfte aber die schwache Erwärmung der ersteren gegenüber der vergleichsweise stärkeren der letzteren sein. Bei einiger Ueberlegung gelangt man, besonders in Rücksicht auf die nachgewiesenen sehr beträchtlichen Unterschiede in den Temperaturschwan-

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. X. 1887. S. 417.

kungen zwischen Erde und Streu, zu der Ansicht, dass in vorliegendem Fall, wie unter vielen anderen ähnlichen Verhältnissen, aus den Mitteltemperaturen keine richtige Vorstellung über das specifische Verhalten der betreffenden Materialien zur Wärme gewonnen werden kann und dass der Gang der Temperatur in denselben vielfach in einer anderen Weise zur Darstellung gelangen muss. Es ist ohne Zweifel für die Beurtheilung verschiedener Verhältnisse nicht gleichgiltig, aus welchen Einzelwerthen die berechnete Mitteltemperatur hervorgegangen ist, denn letztere kann sich bei gleicher Grösse aus sehr verschieden weit auseinander gehenden Extremen zusammensetzen. Es dürfte daher zweckmässig erscheinen, um den Gang der Temperatur zu veranschaulichen, die Oscillationen in der Erwärmung zur Darstellung zu bringen, wie solches in der folgenden Tabelle geschehen ist, welche die Monatsmittel für die Morgen- und Abendbeobachtungen, nebst den betreffenden Differenzen enthält.

1887.	Temperatur in 10 cm Tiefe.														
	Erde.			Kiefernnadeln.			Fichtennadeln.			Eichenlaub.			Moos.		
	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.
April	6,27	11,51	5,24	5,32	11,22	5,90	5,97	11,11	5,14	5,87	11,12	5,26	6,15	10,83	4,68
Mai	9,43	14,17	4,74	10,46	14,38	3,92	10,03	13,76	3,73	10,90	14,02	3,12	11,15	13,50	2,35
Juni	15,88	22,66	6,78	17,84	21,66	3,82	18,43	22,38	3,95	19,19	22,24	3,05	17,82	20,40	2,58
Juli	19,57	26,48	6,91	21,23	24,37	3,14	22,76	25,86	3,10	22,04	24,76	2,72	21,16	23,39	2,23
August	15,67	22,24	6,57	17,80	20,66	2,86	18,93	21,58	2,65	17,75	20,78	3,03	17,56	19,67	2,11
September	12,60	17,62	5,03	14,42	16,69	2,27	15,38	17,02	1,64	14,24	16,55	2,31	14,10	15,59	1,49
Mittel:	**13,24**	**19,11**	5,87	**14,51**	**18,16**	3,65	**15,25**	**18,62**	3,37	**15,00**	**18,24**	3,24	**14,66**	**17,23**	2,57

Aus diesen Zahlen lässt sich ersehen,

1. dass die Abkühlung während der Nacht und die Erwärmung während des Tages bei der Erde grösser ist als bei den verschiedenen Streumaterialien,

2. dass in Folge dessen die täglichen Temperaturschwankungen in letzteren wesentlich geringer sind als in jener,

3. dass unter den verschiedenen Streusorten sich die Fichtennadelstreu am stärksten, das Moos am schwächsten während des Tages erwärmt, während Eichenlaub und Kiefernnadeln in dieser Beziehung in der Mitte stehen,

4. dass die Abkühlung während der Nacht in der Kiefernnadelstreu am grössten ist, und dass dann in absteigender Reihe in Bezug hierauf das Moos, das Eichenlaub und die Fichtennadeln folgen.

Nach alledem zeigen die Streumaterialien ein ähnliches Verhalten zur Wärme, wie der Humus (S. 154), d. h. die Temperaturextreme sind in ihnen in viel höherem Grade ausgeglichen als in den mineralischen Materialien, indem sie sich bei steigender Temperatur schwächer erwärmen, bei sinkender Temperatur in geringerem Grade abkühlen als letztere.

Die Ursachen der durch vorstehende Sätze charakterisirten Unterschiede in den Wärmeverhältnissen der angewendeten Versuchsmaterialien sind zunächst auf die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit derselben zurückzuführen. Indem die Streumaterialien

eine grössere Luftmenge in Folge ihres mehr oder weniger lockeren Gefüges in sich einschliessen, leiten sie die zugeführte Wärme schlechter als die Erde, in welcher die einzelnen Bestandtheile enger aneinander gelagert sind und die zwischen denselben befindliche Luftschicht ein vergleichsweise viel geringeres Volumen einnimmt. Dazu kommt, dass die organische Substanz, aus welcher die Streu besteht, an sich ein geringeres Wärmeleitungsvermögen besitzt als die mineralischen Substanzen (S. 263), welche die Hauptbestandtheile der Erde abgeben. In gleicher Weise wird zur Erklärung der gefundenen Daten der Umstand heranzuziehen sein, dass die Streusorten wegen ihres höheren Wassergehaltes eine grössere Wärmecapacität besitzen und deshalb mehr Wärme zur Erhöhung ihrer Temperatur bedürfen als die Erde, deren specifische Wärme wegen ihres vergleichsweise geringeren Feuchtigkeitsgehaltes kleiner ist.

Die schlechte Wärmeleitungsfähigkeit der Blätter und Nadeln der Waldbäume ist auch die Hauptursache ihrer im Vergleich zur Erde weniger stark erfolgenden Abkühlung während der Nacht. Die Eigenschaften, welche für das Verhalten der angewendeten Materialien zur Wärme maassgebend sind, sind demnach derart, dass in dem Gange der Temperatur in den Streumaterialien geringere Schwankungen auftreten müssen als in demjenigen der Erde.

In Bezug auf die zwischen den einzelnen Streusorten hinsichtlich ihrer Temperaturverhältnisse hervorgetretenen Differenzen mag die Beschaffenheit der einzelnen Bestandtheile und die Art ihrer Lagerung vornehmlich von Einfluss sich erweisen. Die Fichtennadeln legen sich wegen ihrer Kürze enger aneinander und bilden in Folge dessen eine weniger lockere Masse als die übrigen Streusorten. In Folge dieser Beschaffenheit besitzen sie ein besseres Wärmeleitungsvermögen und nehmen deswegen eine höhere Temperatur als diese an. Aehnlich verhält sich die Eichenlaubstreu, in welcher sich die horizontalliegenden Blätter mehr oder weniger eng aneinanderschliessen, während die Kiefernnadeln wegen ihrer Länge und das langstenglige Hypnum-Moos eine mehr lockere Masse bilden und demgemäss eine grössere, einer stärkeren Erwärmung hinderliche Luftmenge einschliessen.

Der Umstand, dass die Abkühlung während der Nacht nicht in demselben Grade erfolgt, als die Bestandtheile dichter aneinander gelagert sind, ist hauptsächlich dadurch zu erklären, dass die nächtliche Temperaturabnahme nicht allein von der Wärmeleitungsfähigkeit, sondern auch von dem Widerstande abhängig ist, welcher sich dem Einsinken der kälteren Nachtluft in das Material entgegenstellt. Die lockere Beschaffenheit der Kiefernnadelstreu bringt es mit sich, dass die von diesem Material eingeschlossene, während des Tages erwärmte Luft leichter durch die schwerere kältere atmosphärische Luft während der Nacht verdrängt wird als die in der dichteren Fichtennadel- und Eichenlaubstreu enthaltene. Hierauf mag die Thatsache zurückgeführt werden können, dass die letzteren Streusorten während der Nacht sich weniger stark abkühlen als jene. Die geschilderten Unterschiede sind jedoch nicht überall in gleicher Weise vorhanden und wesentlich mit abhängig von der Art der Lagerung der einzelnen Theilchen.

d) Die Bildung von Humus in der Waldstreu findet, wie bereits früher (S. 196 u. 203) nachgewiesen wurde, in verschiedener Weise statt, je nach den äusseren hierbei maassgebenden Bedingungen. Sind letztere einer Verwesung günstig, so entsteht Mull gewöhnlich nur in schwacher Lage, weil die intensive Zersetzung

der Streuabfälle einer Anhäufung der Verwesungsproducte hinderlich ist, während Rohhumus und Trockentorf meist in stärkeren Lagen gebildet werden, sobald die Zersetzungsbedingungen in Folge gewisser Witterungsverhältnisse und Wachsthumszustände der Bäume sich ungünstig gestalten, d. h. eine Fäulniss der organischen Stoffe veranlassen.

Der Uebergang der Streuabfälle in Humus erfolgt bei den verschiedenen Pflanzen mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit, bei der Laubstreu in der Regel in 2—3 Jahren, unter Umständen erst in 4—5 Jahren, bei der Nadelstreu, die sich vergleichsweise langsamer zersetzt, meistenteils in 3—4, in gewissen Verhältnissen aber auch in 5—8 Jahren.

e) Der Einfluss der Streudecke auf die Fruchtbarkeit des Waldbodens. Die meist wohlthätige Wirkung des Humus im Walde erklärt sich aus verschiedenen Ursachen, zunächst aus dem Umstande, dass die Waldbäume sich in den betreffenden Schichten mit ihren Wurzeln ausbreiten und in denselben zahlreiche Saugwurzeln entwickeln, mit deren Hilfe sie die im Humus enthaltenen Nährstoffe sich aneignen. Diese Nährstoffaufnahme findet aber nicht direct statt, sondern, wie oben (S. 278) gezeigt wurde, unter Vermittelung von Pilzen, welche mit den Saugwurzeln in ein symbiotisches Verhältniss treten, indem sie letztere mit ihren Mycelien dicht überziehen (Micorrhiza) und den Uebergang der Nährstoffe aus dem Humus in die Pflanze vermitteln.

Weiters hat der Humus der Streudecke die Bedeutung, dass er den Waldboden, besonders die oberen Schichten desselben, an organischen Stoffen bereichert, wodurch alle jene günstigen Abänderungen in der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Erdreiches hervorgerufen werden, welche überhaupt aus der Mischung humoser Stoffe mit mineralischen Bodenarten resultiren, und die bereits bei einer anderen Gelegenheit ausführlich erörtert worden sind. Die dem Waldboden beigemengten Humusstoffe stammen zwar nicht ausschliesslich aus der Streudecke, sondern zum Theil auch aus den alljährlich absterbenden Wurzeln der Bäume (S. 191 u. 196), doch dürfte die Anreicherung des Bodens auf ersterem Wege wenigstens in den oberen Schichten in stärkerem Grade erfolgen als auf letzterem.

Die wichtigsten chemischen Functionen der Streudecke sind unstreitig darin zu erblicken, dass die bei der Zersetzung derselben in leicht aufnehmbarer Form sich bildenden Stickstoffverbindungen (Amidokörper, Ammoniaksalze) und Mineralstoffe, nachdem sie durch die atmosphärischen Niederschläge aufgelöst und mit diesen in das Wurzelbereich der Pflanzen geführt worden sind, für die Ernährung der Waldbäume verwendet werden. Letztere sind zwar im Stande sich in Folge der ausgebreiteten Verzweigung ihres Wurzelsystems aus grösseren und tieferen Partien des Erdreiches Nährstoffe aus ungelösten Verbindungen anzueignen, in einem ungleich höheren Grade als die Ackergewächse, aber die auf diesem Wege aufgenommene Nährstoffmenge bleibt denjenigen gegenüber beträchtlich zurück, welche durch die Verwesung der organischen Stoffe in der Streudecke gebildet werden. Eine kräftige Ernährung der Waldpflanzen, eine grössere und bessere Holzproduction ist, abgesehen von Nebenumständen, nur in dem Falle gewährleistet, wenn die in den Abfällen des Waldes (Blätter, Nadeln, Reisig, Moos und andere vegetabilische Reste) enthaltenen Nährstoffe dem Boden vollständig zu Gute kommen. Die Streu-

materialien und der aus denselben hervorgehende Humus bilden daher den natürlichen Dünger des Waldbodens.

Ueber das Verhalten der Mineralstoffe zu dem zugeführten atmosphärischen Wasser geben einige von *J. Schröder*[1]) und *E. Ramann*[2]) ausgeführte Versuche Aufschluss. Ersterer fand, dass es einer vollständigen Zersetzung der Waldstreu resp. des Humus nicht bedarf, um die Mineralstoffe dem Waldboden zuzuführen, sondern dass schon vorher eine erhebliche Menge derselben von den meteorischen Wässern aufgelöst wird, wie folgende Zahlen darthun, welche die Menge der einzelnen Bestandtheile (in Procenten) angeben, welche gelöst und ausgewaschen wurden:

Aus	Kali.	Kalk.	Magnesia.	Eisenoxyd.	Phosphorsäure.	Schwefelsäure.
Buchenlaub	52,6	4,5	19,6	1,5	19,7	55,3
berindeten Fichtenästchen	47,8	7,9	20,3	5,0	37,9	86,2.

Hiernach wurden Kali und Schwefelsäure am leichtesten ausgelaugt, in geringerer Quantität Phosphorsäure und Magnesia und in kleinster Menge Kalk und Eisen.

Der gegen diese Untersuchungen erhobene Einwand, dass die durch grössere Wassermengen bewirkten Veränderungen in der Streu andere seien, als die unter natürlichen Verhältnissen stattfindenden, wurde durch die Untersuchungen von *E. Ramann* entkräftet, welcher in einem Regenmesser Eichenlaub und später Fichtennadeln allen Witterungseinflüssen aussetzte und die Aehnlichkeit der Wirkung der Niederschläge mit jenen des Auslaugens nachwies. 1000 Theile der betreffenden vollständig trockenen Streumaterialien verloren nach 1 Jahre (Eichenlaub) resp. nach $^1/_2$ Jahre:

	Kali.	Kalk.	Magnesia.	Phosphorsäure.	Kieselsäure.	Reinasche.
Eichenlaub	2,05	0,44	0,35	0,63	0,17	3,92
Fichtennadeln	0,83	0,47	0,18	0,07	0,22	—

Von dem vorhandenen Kali waren bei dem Eichenlaub innerhalb eines Jahres 40%, bei der Fichtennadelstreu während eines noch kürzeren Zeitraumes 50% gelöst worden. Der Einfluss des Wassers macht sich wahrscheinlich in der Weise geltend, dass von den ersten Portionen eine rasche Lösung und Wegfuhr der Hauptmasse der lösbaren Salze bewirkt wird, wie aus einem von demselben Verfasser ausgeführten Versuch geschlossen werden darf, in welchem bei der Auslaugung von Buchenlaub mit der dreifachen Wassermenge der lufttrockenen Substanz in 24 Stunden bereits 49,5%, in den nächsten 2 Tagen noch 22,1% der gesammten vorhandenen Kalimenge gelöst wurden.

Im Walde führt die Verwesung zur Zerstörung der organischen Substanzen so rasch, dass die Auswaschung überholt wird, was sich aus dem Umstande ergiebt, dass die zersetzten Blätter und Nadeln procentisch reicher an Mineralstoffen sind als die ursprünglichen. Dies lehren folgende aus dem angeführten Versuch von *E. Ramann* entlehnte Zahlen:

---

[1]) *J. Schröder.* Forstchemische und pflanzenphysiologische Untersuchungen. Dresden. 1878.

[2]) *E. Ramann.* Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. Berlin. 1893. S. 276.

Procentische Zusammensetzung der Trockensubstanz.

	Kali.	Kalk.	Magnesia.	Phosphorsäure.	Kieselsäure.	Reinasche.
Eichenlaub, ursprünglich	0,487	2,303	0,544	2,189	1,507	7,501
„ nach 2 Jahren	0,133	3,241	0,180	2,200	5,476	11,210
Fichtennadeln, ursprünglich	0,173	1,374	0,071	0,203	2,573	4,765
„ nach 1 3/4 Jahren	0,135	2,229	0,164	0,292	4,557	8,520.

Ueber das Verhalten der unter ungünstigen Zersetzungsbedingungen sich bildenden saueren Humusstoffe der auslaugenden Wirkung des Wassers gegenüber liegen noch keine Untersuchungen vor. *E. Ramann* ist der Meinung, dass die Auslaugung unter solchen Umständen wahrscheinlich erheblich gesteigert wird und sich auch auf die alkalischen Erden erstreckt, während sich die Zersetzung in hohem Grade verzögert.

Der Einfluss, den die Streudecke auf die chemische Zusammensetzung der tieferen Schichten des Waldbodens ausübt, ist ein sehr verschiedener, je nachdem die Zersetzung der Streumaterialien unter günstigen oder ungünstigen Bedingungen stattfindet, d. h. je nachdem sich Mull oder Rohhumus resp. Torf aus denselben bilden. Die Kenntniss dieser Unterschiede ist hauptsächlich *C. Emeis*[1]), *P. E. Müller*[2]) und *E. Ramann*[3]) zu verdanken.

Die Umbildung, welche ein Mullboden von normaler Beschaffenheit erfährt, lässt sich aus folgenden Analysen erkennen, welche bei einem Diluvialsandboden der Oberförsterei Eberswalde, mit 100—120jährigen gutwüchsigen Kiefern und 40—60jährigen Buchen als Unterholz bestanden, von letztgenanntem Forscher ausgeführt wurden.

Bodenprofil: 16 cm humoser Sand, 30 cm bräunlich-gelber Sand auf weissem Sand

Bestandtheile.	Schwach humoser Sand.			Bräunlich-gelber Sand.			Weisser Sand.		
	Löslich in Salzsäure %des Bodens.	Unlöslicher Rückstand des Salzsäureauszugs.	Gesammtgehalt des Bodens.	Löslich in Salzsäure %des Bodens.	Unlöslicher Rückstand des Salzsäureauszugs.	Gesammtgehalt des Bodens.	Löslich in Salzsäure %des Bodens.	Unlöslicher Rückstand des Salzsäureauszugs.	Gesammtgehalt des Bodens.
Kali	0,020	0,96	0,98	0,035	1,19	1,23	0,048	1,04	1,09
Kalk	0,019	0,36	0,38	0,041	0,43	0,47	0,041	0,32	0,36
Magnesia	0,025	0,06	0,08	0,052	0,07	0,12	0,055	0,06	0,12
Eisenoxyd	0,197	0,69	0,89	0,215	0,76	0,98	0,241	0,68	0,92
Thonerde	0,174	2,84	3,01	0,272	2,40	2,67	0,132	2,48	2,61
Phosphorsäure	0,040	0,05	0,09	0,068	0,04	0,11	0,030	0,07	0,10

Hiernach erscheint die oberste Schicht am stärksten verwittert und an Mineralstoffen durch Auswaschung relativ verarmt, die darunter liegende als eigentliche Verwitterungszone am reichlichsten mit löslichen Nährstoffen und einem mittleren

[1]) *C. Emeis.* Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen. Berlin. 1876.

[2]) *P. E. Müller.* Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin. 1887.

[3]) *E. Ramann.* Der Ortstein und ähnliche Secundärbildungen in den Diluvial- und Aluvialsanden. Jahrbuch d. k. preuss. geologischen Landesanstalt für 1885. Berlin. 1886. — Ueber Bildung und Cultur des Ortsteins. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 1886. 1. Heft. Die Waldstreu und ihre Bedeutung für Boden und Wald. Berlin. 1890. — Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. Berlin. 1893. S. 234.

Gehalt an unlöslichen versehen, während der weisse Sand den noch wenig angegriffenen Rohboden darstellt. In Lehmböden lassen sich ähnliche Verhältnisse nachweisen, wenn auch nicht so scharf ausgeprägt wie in den Sanden, weil in jenen die Wasserleitung nach unten viel langsamer und in einem geringeren Umfange erfolgt als in diesen.

Bei der Bedeckung des Bodens mit Rohhumus verläuft die Verwitterung der Mineralbestandtheile ungleich intensiver als in dem Mullboden, weil unter der Einwirkung der durch die meteorischen Wässer eingewaschenen Humussäuren die Silicate energisch zersetzt und Alkalien, sowie alkalische Erden in Lösung gebracht werden. Da gleichzeitig die Absorptionsfähigkeit des Bodens in Folge des Vorhandenseins von Säuren herabgedrückt ist, so werden die gelösten Stoffe leicht in die Tiefe weggeführt, besonders auf Sandböden, in welchen die Absickerung eine sehr beträchtliche ist. „Die Rohhumusbedeckung bewirkt also eine rascher fortschreitende Verwitterung des Bodens und zugleich veranlasst sie beschleunigte Auswaschung der löslich gewordenen Mineralstoffe.“ (*E. Ramann.*) Für die geschilderten Vorgänge liefert folgender Versuch von *E. Ramann* ein gutes Beispiel. Die betreffenden Böden lagen nur wenige Schritte von einander, zeigten aber je nach der Humusbedeckung folgende drastische Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung:

Bestandtheile.	In Salzsäure löslich.		
	Mullboden.	Boden mit 2 cm Rohhumus bedeckt.	Boden mit 7 cm Rohhumus bedeckt
Kali	0,0107	0,0107	0,0092
Natron	0,0063	0,0071	0,0069
Kalk	0,0875	0,0508	0,0360
Magnesia	0,0440	0,0333	0,0130
Manganoxyduloxyd	0,0500	0,0250	0,0150
Eisenoxyd	0,4875	0,4287	0,3375
Thonerde	0,5625	0,4287	0,3487
Phosphorsäure	0,0489	0,0320	0,0296
Insgesammt:	**1,2974**	**1,0163**	**0,7959**

Die auslaugende Wirkung der Gewässer in dem Boden mit Rohhumusbedeckung wird durch diese Zahlen zur Evidenz nachgewiesen. Natürlich ist dieselbe um so intensiver, je grösser der Gehalt des Wassers an sauer reagirenden Humusstoffen ist.

In Folge der Verwitterung und Auswaschung verarmt die oberste Schicht an löslichen Mineralstoffen und erleidet Veränderungen, die sich schon äusserlich erkennen lassen. Die oberste Schicht erscheint stark gebleicht, der Sand von heller Farbe und die Silicatgesteine verwittert, zumeist in weissen Kaolin verwandelt. Die humosen Bestandtteile, welche an der Oberfläche in reichlichen Mengen vorhanden sind, nehmen nach unten immer mehr ab, derart, dass der Boden eine hellgraue Farbe hat. Letzterer Umstand hat Veranlassung gegeben, solchen Boden mit Grausand oder Bleisand zu bezeichnen.

Unten grenzt die zum Theil oder fast völlig erschöpfte Schicht an eine solche, welche erst einen sehr geringen Verlust erlitten hat und in welcher sich die Ver-

witterung langsam vollzieht. Es treten somit in Sandböden zwei völlig verschiedene Schichten auf, die scharf begrenzt übereinander liegen, und zwar der Bleisand, in welchem die Verwitterung nahezu beendet ist, und der gelbe Verwitterungsand.

An der Grenze zwischen beiden, also unterhalb des Bleisandes bildet sich ausserordentlich häufig eine mehr oder weniger feste Schicht, der Ortstein oder die Orterde, und zwar durch Ausfällung der durch das eindringende meteorische Wasser gelösten Humussäuren in der Verwitterungszone des Bodens. Um dies zu verstehen, hat man zu berücksichtigen, dass die Humusstoffe, so lange noch lösliche Bodensalze vorhanden sind, vor der Lösung geschützt sind, dass dieselben aber sich in dem atmosphärischen Wasser auflösen und mit diesem in die Tiefe geführt werden, so bald jene Salze durch Auswaschung aus den betreffenden Schichten entfernt worden sind. Diese Bedingungen sind nun in dem ausgelaugten Bleisande gegeben. Die humosen Stoffe in demselben werden durch die atmosphärischen Wässer gelöst und gelangen mit diesen in die Tiefe, wo sie in Berührung mit den Bodenschichten, die noch nicht ausgewaschen sind und in denen durch Verwitterung neue Stoffe zur Wirkung kommen, ausgefällt werden, die Sandkörner mit einer dünnen Schicht structurloser organischer Stoffe zunächst überziehend und sie weiterhin mit einander verkittend. Der Ortstein ist demnach als ein durch solche gelöste und wieder ausgefällte Humusstoffe verkitteter Sand anzusehen *(E. Ramann)*.

Dass die Ursache der Ortsteinbildung in den beschriebenen Vorgängen zu suchen sei, hat *E. Ramann* in schlagender Weise dargethan und durch verschiedene Beispiele illustrirt, von welchen das folgende hier eine Stelle finden möge:

Ortsteinboden der Oberförsterei Hohenbrück in Pommern.

1. Bleisand, 15—20 cm mächtig, mit 1,05% organischen Stoffen.
2. Ortstein, 5—8 cm mächtig, mit 7,28% organischen Stoffen.
3. Gelbbrauner unter dem Ortstein liegender Sand.

Bestandtheile.	Bleisand.			Ortstein.			Gelbbrauner Sand.		
	In Salzsäure löslich. %	Der in Salzsäure unlösliche Rückstand. %	Gesammtgehalt des Bodens. %	In Salzsäure löslich. %	Der in Salzsäure unlösliche Rückstand. %	Gesammtgehalt des Bodens. %	In Salzsäure löslich. %	Der in Salzsäure unlösliche Rückstand. %	Gesammtgehalt des Bodens. %
Kali	0,0076	0,618	0,626	0,0178	0,754	0,772	0,0085	1,103	1,111
Natron	0,0111	0,167	0,178	0,0033	0,360	0,363	0,0213	0,528	0,549
Kalk	0,0110	0,060	0,071	0,0194	0,170	0,189	0,0254	0,225	0,250
Magnesia	0,0026	0,020	0,023	0,0137	0,028	0,042	0,0401	0,064	0,104
Manganoxyduloxyd	0,0032	0,060	0,063	0,0044	0,047	0,051	0,0068	0,026	0,033
Eisenoxyd	0,0964	0,450	0,546	0,1936	0,690	0,884	0,3448	0,760	1,105
Thonerde	0,0268	1,650	1,677	1,5256	2,320	3,845	0,4000	3,210	3,610
Phosphorsäure	0,0059	0,043	0,049	0,2966	0,042	0,338	0,0281	0,043	0,071
Insgesammt:	**0,1616**	**3,068**	**3,233**	**2,0744**	**4,411**	**6,484**	**0,8750**	**5,959**	**6,833**

Ohne Weiteres zeigen diese Zahlen einen viel grösseren Unterschied in der Zusammensetzung der einzelnen Bodenschichten als bei dem Mullboden (S. 310) und im Speciellen, dass der Bleisand eine nahezu völlig verwitterte und an löslichen

Mineralbestandtheilen verarmte Bodenschicht ist, während der Ortstein, die eigentliche Verwitterungszone des Bodens, die grösste Menge leicht löslicher und eine mittlere unverwitterter Mineralstoffe enthält, der darunter liegende Sand noch wenig verwittert und am reichsten mit noch unveränderten Bestandtheilen dotirt ist.

Der Ortstein erleidet mannigfache weitere Veränderungen, unter welchen die „Topfbildungen" ein besonderes Interesse bieten. Dieselben stellen Ausstülpungen der Ortsteinschicht in die tieferen Bodenlagen dar und lassen sich in allen Uebergängen verfolgen (Fig. 51 u. 52). Die Grenzen der Töpfe sind meist wenig scharf; auch beobachtet man Adern von humosem Sand, welche den unteren Sand durchziehen und von den Töpfen sowohl, als auch von der eigentlichen Ortsteinschichte ausgehen (Fig. 52). Das Innere der Töpfe ist mit Bleisand ausgefüllt und die dieselben begrenzende Schicht bildet eine Fortsetzung der Ortsteinschicht.

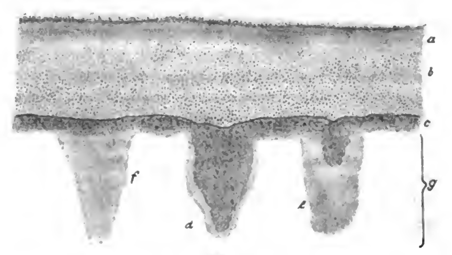


Fig. 51.
Ortsteintöpfe in verschiedener Ausbildung. (Nach *E. Ramann.*) a. Humoser Sand. b. Bleisand. c. Ortsteinschicht. g. Gelber Verwitterungssand. d—f. Töpfe in verschiedener Ausbildung (schematisch).

Die Töpfe können dadurch entstanden sein, dass das auf der Ortsteinschicht angelangte und sich ansammelnde Wasser an einzelnen Stellen die Schicht angreift, auswäscht und auf diese Weise eine Auflösung der humosen Bestandtheile und eine Wiederablagerung derselben an der unteren Grenze des Ortes bewirkt, oder dass eine Durchbrechung der Ortsteinschicht seitens einzelner Pflanzenwurzeln und eine Weiterbildung des Ortsteins an der Durchbruchsstelle stattgefunden hat. Dadurch, dass durch letztere grössere Wassermengen zum Abfluss gelangen und Auswaschungen und Verwitterungsvorgänge in der darunter liegenden Partie hervorgerufen werden, sind von Neuem die Bedingungen zu einer Ortsteinabscheidung gegeben. Es bildet sich auch hier zunächst Bleisand, und, wenn dieser erst vorhanden, eine Umhüllung der Bodenelemente mit humosen Stoffen an der Grenze des Verwitterungssandes. Der Ortstein zeigt also die Eigenthümlichkeit und unterscheidet sich dadurch von den übrigen Gesteinen, dass jede durch Eindringen von Wurzeln oder durch Verwitterung entstehende Spalte durch Neubildung in kurzer Zeit wieder geschlossen wird, so dass die Ortsteinlage stets als eine zusammenhängende, scheinbar unveränderte Schicht erscheint. Hiernach müssen die Töpfe als die normale Weiterbildung des Ortsteins betrachtet werden. Jede in geringem Umfange erfolgende Durchbrechung des Ortsteins dient nur dazu, den Ortstein in tiefere Lagen des Bodens zu führen.

Auf Grund der geschilderten Vorgänge wird geschlossen werden dürfen, dass Ortsteinabscheidungen an Oertlichkeiten stattfinden können, welche zur Zeit noch frei davon sind. Dies wird dort der Fall sein, wo durch natürliche oder künstlich hervorgerufene Aenderungen der Pflanzendecke die Bedingungen zur Bildung von Rohhumus gegeben sind *(E. Ramann)*.

Trotzdem der Ortstein stets den gleichen Ursachen seine Entstehung zu verdanken hat, ist seine Beschaffenheit namentlich in Bezug auf seine Consistenz eine verschiedene. *E. Ramann* unterscheidet drei Formen, nämlich: 1. Branderde, welche eine leicht zerreibliche Masse bildet, reichlich mit organischen Stoffen versehen ist und in geringer Tiefe vorkommt. 2. Ortstein, von steinharter Beschaffenheti, brauner bis schwarzer Farbe, mit einem mittleren Gehalt an organischen Stoffen, in mässiger Mächtigkeit auf noch zerreiblichen oder losen Bodenschichten auflagernd. Diese Form kommt hauptsächlich in Norddeutschland vor. 3. Halbbraun- bis braungefärbter Ortstein, sehr fest, ausserordentlich schwer bearbeitbar, eine geringe Menge organischer Bestandtheile enthaltend, in der Regel von grosser Mächtigkeit und von einer Schicht weniger festen und dunklen Ortsteins überlagert. Diese Form findet sich überwiegend in Schleswig-Holstein und Dänemark.

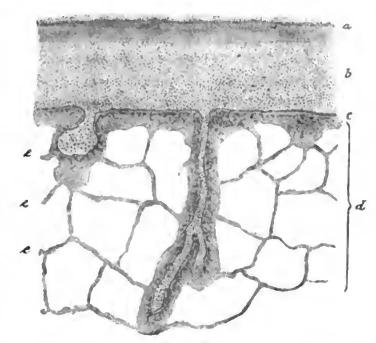


Fig. 52.
Töpfe von Ortstein mit Bleisandfüllung. (Nach *E. Ramann.*)
a. Humoser Sand. b. Bleisand. c. Ortstein. d. Gelber Verwitterungssand. e. Dünne Ortsteinadern.

An die Luft gebracht und besonders unter dem Einfluss des Frostes zerfällt der Ortstein zu einer braungefärbten lockeren Masse, die in Folge von Zersetzung der organischen Bestandtheile nach und nach eine hellere Farbe annimmt.

Die Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung lassen sich nach den diesbezüglichen ausführlichen Analysen von *E. Ramann*, wie folgt, charakterisiren:

Bestandtheile.	Gesammtboden (Procente).			In Salzsäure löslich (Procente).		
	Minimum.	Maximum.	Mittel.	Minimum.	Maximum.	Mittel.
Kieselsäure (Sand)	89,93	97,58	**94,26**	—	—	—
Glühverlust (Humus)	1,23	8,09	**5,21**	—	—	—
Kali	0,220	1,293	**0,674**	0,0051	0,0199	**0,0120**
Natron	0,047	0,768	**0,307**	0,0033	0,0324	**0,0124**
Kalkerde	0,025	0,348	**0,157**	0,0116	0,0384	**0,0205**
Magnesia	0,038	0,106	**0,059**	0,0051	0,0329	**0,0129**
Manganoxyduloxyd	0,025	0,051	**0,038**	0,0026	0,0092	**0,0049**
Eisenoxyd	0,143	2,489	**0,696**	0,0108	1,3876	**0,2837**
Phosphorsäure	0,034	0,338	**0,089**	0,0083	0,2966	**0,0483**
Thonerde	1,362	5,685	**2,889**	0,3340	1,5256	**0,6613**

Aus diesen Zahlen lässt sich ersehen, dass der Ortstein mit den für das Leben der Pflanzen nothwendigen Nährstoffen reichlich versehen ist. Um so mehr muss es auffallen, dass die Gewächse auf einem Ortsteinboden ein kümmerliches Wachsthum zeigen. Bei Bäumen sterben in der Regel nach einigen Jahren die obersten Aeste ab und gehen die Pflanzen schliesslich zu Grunde. Bei näherer Untersuchung findet man, dass die feineren Saugwurzeln der Pflanzen sich nur in den oberen humosen Schichten und auf der Oberfläche der Ortsteinschicht entwickeln. Gelingt es den Wurzeln der Bäume hin und wieder die Ortsteinschicht zu durchbrechen, so geschieht dies in der Regel nicht mittelst der Pfahlwurzel, sondern durch irgend eine Nebenwurzel, welche sich alsdann in dem Verwitterungssande verzweigt und die Hauptternährung des Baumes übernimmt. Die nachtheilige Wirkung des Ortsteins auf das Wachsthum der Pflanzen beruht also zunächst darauf, dass derselbe dem Eindringen der Wurzeln in die tieferen Schichten ein mechanisches Hinderniss entgegenstellt. Dazu kommt aber noch, dass er gleichzeitig die Wasserbewegung im Boden wegen seiner äusserst geringen Permeabilität hemmt. Folge hiervon ist, dass einerseits bei grösseren Niederschlägen Nässe und andererseits bei länger anhaltender Dürre Trockenheit erzeugt wird, weil, nachdem das Wasser aus der über dem Ortstein liegenden Bodenschicht (Bleisand) verdunstet ist, keine Feuchtigkeit aus dem Verwitterungssande capillar nach oben geleitet werden kann.

Die wichtigsten physikalischen Functionen der Streudecke bestehen hauptsächlich in der Beeinflussung der Structur-, der Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse des Waldbodens.

In Bezug auf die Structur des Bodens hat die Streudecke zunächst die Bedeutung, dass sie das Eindringen des Wassers in den Boden wesentlich verlangsamt und dadurch die eine dichtere Lagerung der Bodentheilchen verursachenden Wirkungen der Niederschläge abschwächt. Aus diesem Grunde muss ein mit einer Streudecke versehener Boden ein lockereres Gefüge besitzen, als ein solcher, von welchem dieselbe entfernt worden ist. Die in Folge dauernder Streuentnahme eintretende „Bodenverhärtung", welche sich durch Abnahme des Porenvolumens documentirt, wird durch folgende von *E. Ramann* ermittelte Zahlen nachgewiesen:

	Berechte Fläche.		Unberechte Fläche.	
	Obere Bodenschicht. 0—11 cm	Tiefere Bodenschicht. 20—31 cm	Obere Bodenschicht. 0—11 cm	Tiefere Bodenschicht. 20—31 cm
I. Porenvolumen	44,2%	45,1%	56,7%	46,1%
II. „	47,1 „	45,0 „	51,0 „	45,1 „

Im Uebrigen ist der Lockerheitsgrad des Waldbodens davon abhängig, in welcher Weise die Zersetzung der organischen Bestandtheile der Streumaterialien, d. h. ob eine Mull- oder Rohhumusbildung stattfindet. Die in dieser Richtung sich geltend machenden Unterschiede lassen sich dahin präcisiren, dass der Mullboden bis in grössere Tiefen eine krümelige Beschaffenheit aufweist, während der Waldboden unter einer Decke von Rohhumus ein dichteres Gefüge besitzt. Dafür sprechen z. B. folgende Zahlen aus den Versuchen *E. Ramann*'s:

Porenvolumen des Bodens.

Mullboden.	Boden mit 2 cm Rohhumus bedeckt.	Boden mit 7 cm Rohhumus bedeckt.
55,4	**53,1**	**46,2.**

Vergleicht man diese Daten mit den auf S. 310 angegebenen Analysen dieser Böden, so gelangt man zu der Ansicht, dass die Unterschiede in dem Porenvolumen, wie solche durch vorstehende Zahlen ausgedrückt werden, zu jenen im Gehalt der Böden an löslichen Salzen in einer gesetzmässigen Beziehung stehen, in specie, dass mit der Abnahme des Gehaltes an löslichen Salzen eine Verdichtung der Bodenmasse Hand in Hand geht.

Die Ursache dieser Erscheinung lässt sich zunächst aus dem Umstande erklären, dass bei Gegenwart verschiedener löslicher Salze die Bodentheilchen die Neigung zur Bildung von Aggregaten (Krümeln) erhalten. Diese Wirkung der Salze wird sich in dem Festboden schwerlich in directer Weise äussern, aber indirect dadurch geltend machen, dass die durch Volumveränderungen in Folge wechselnder Feuchtigkeit oder bei dem Gefrieren des Bodenwassers hervorgerufenen Krümelbildungen mehr oder weniger persistiren, so lange noch lösliche Salze in den unter der Streuschicht gelegenen Bodenpartien vorhanden sind, wie dies bei dem Mullboden der Fall ist. Dagegen werden die Aggregate leicht durch das eindringende Wasser zerstört, wenn unter dem Einfluss der Humussäuren des Rohhumus die Salze, wie oben gezeigt wurde (S. 310), aus dem Boden ausgewaschen werden. Der Rohhumus bewirkt also dadurch eine Verminderung des Porenvolumen oder mit anderen Worten, eine Verschlechterung des Bodens in physikalischer Hinsicht.

Der Einfluss, den die Streudecke an sich auf die Erwärmung des Erdreiches ausübt, wurde von *E. Ebermayer*[1]) und dem Verfasser[2]) durch zahlreiche Versuche näher zu ergründen versucht. Zur Illustration dieser Verhältnisse können folgende Zahlen aus den Beobachtungen des Verfassers dienen. Siehe die Tabellen S. 316 u. 317.

Bei Durchsicht dieser Zahlen ergiebt sich mit voller Deutlichkeit,

1. dass der mit Streu bedeckte Boden während der wärmeren Jahreszeit und bei steigender Temperatur kälter, während der kälteren Jahreszeit[3]) und bei sinkender Temperatur dagegen wärmer ist als der nackte,

2. dass die Wirkungen der Streu auf die Temperatur mit der Mächtigkeit der Schicht zunehmen, d. h. dass die Temperatur des Bodens während der wärmeren Jahreszeit um so niedriger, während der kälteren um so höher ist, je stärker die Streulage ist,

3. dass die Temperatur des nackten Bodens zur Zeit des täglichen Minimums niedriger, zur Zeit des täglichen Maximums dagegen höher ist als diejenige des mit einer Streudecke versehenen Bodens,

4. dass demgemäss die Schwankungen der Temperatur des nackten Bodens beträchtlich grösser sind als in dem mit Streu bedeckten, sowie dass dieselben in letzterem in dem Grade abnehmen, je mächtiger die obenaufliegende Streuschicht ist.

5. dass die verschiedenen Streudecken bei gleicher Mächtigkeit der Schicht ziemlich gleichmässig auf die Erniedrigung resp. Erhöhung der Bodenwärme einwirken.

---

[1]) *E. Ebermayer.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XIV. 1891. S. 379.

[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. XIII. 1890. S. 143.

[3]) Vergl. die Beobachtungen im October.

Monatlicher Gang der Bodentemperatur.

1888.	Lufttemperatur.	Bodentemperatur in 12 cm Tiefe.									Temperaturschwankungen.								
		Nackt.	Kiefernnadeln 2,5 cm.	Fichtennadeln 2,5 cm.	Eichenlaub 2,5 cm.	Buchenlaub 2,5 cm.	Moos.				Nackt.	Kiefernnadeln 2,5 cm.	Fichtennadeln 2,5 cm.	Eichenlaub 2,5 cm.	Buchenlaub 2,5 cm.	Moos.			
							2,5 cm.	5,0 cm.	7,5 cm.	10,0 cm.						2,5 cm.	5,0 cm.	7,5 cm.	10,0 cm.
Mai	13,23	15,11	13,38	13,16	13,15	13,17	13,25	12,69	12,50	12,42	9,70	3,48	3,07	3,27	3,43	3,37	2,23	1,78	1,45
Juni	16,41	18,35	17,34	17,20	17,05	17,03	17,28	16,86	16,66	16,55	11,07	5,51	4,83	5,35	5,73	5,28	3,87	2,92	2,62
Juli	15,04	16,57	16,27	16,38	15,70	15,68	16,17	16,00	15,90	15,83	7,93	3,65	3,48	3,63	3,40	3,38	2,27	1,82	1,78
August	15,60	17,84	17,06	17,04	16,54	16,55	16,89	16,66	16,56	16,49	9,00	4,57	4,13	4,13	4,07	4,10	2,95	2,37	2,12
September	12,82	14,59	14,45	14,50	14,25	14,24	14,28	14,34	14,43	14,47	7,50	3,80	3,13	3,85	3,65	3,18	2,22	1,68	1,55
October	5,33	7,21	7,30	7,39	7,24	7,20	7,28	7,67	8,11	8,24	5,05	2,97	2,68	3,20	2,92	2,47	1,95	1,52	1,40
Mittel:	13,07	14,94	14,30	14,28	13,99	13,98	14,19	14,04	14,03	14,00	8,37	4,00	3,55	3,90	3,87	3,63	2,58	2,01	1,82

Täglicher Gang der Bodentemperatur.

1888.	Nackt.			Kiefernnadeln.			Fichtennadeln.			Eichenlaub.			Buchenlaub.		
	0			2,5 cm.			2,5 cm.			2,5 cm.			2,5 cm.		
	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.
Mai	12,29	17,83	5,54	12,48	14,16	1,68	12,37	13,83	1,46	12,34	13,84	1,50	12,25	13,95	1,70
Juni	15,81	21,25	5,44	16,29	18,37	2,08	16,32	18,09	1,77	16,05	18,05	2,00	15,92	18,14	2,22
Juli	14,53	18,47	3,94	15,44	17,00	1,56	15,60	17,05	1,45	14,89	16,41	1,52	14,93	16,31	1,38
August	15,53	20,00	4,47	16,13	17,94	1,81	16,25	17,83	1,58	15,76	17,28	1,52	15,81	17,26	1,45
September	12,57	16,61	4,04	13,66	15,25	1,59	13,78	15,21	1,43	13,39	15,12	1,73	13,47	15,05	1,61
October	6,02	8,36	2,34	6,91	7,72	0,81	7,14	7,70	0,56	6,76	7,79	1,03	6,74	7,70	0,96
Mittel:	12,79	17,09	4,30	13,48	15,07	1,59	13,58	14,95	1,37	13,20	14,75	1,55	13,18	14,73	1,55

1888.	Nackt.			Moos.			Moos.			Moos.			Moos.		
	0			2,5 cm.			5,0 cm.			7,5 cm.			10,0 cm.		
	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.	Mg.	Ab.	D.
Mai	12,29	17,83	5,54	12,41	13,97	1,56	12,20	13,07	0,87	12,11	12,78	0,67	12,05	12,66	0,61
Juni	15,81	21,25	5,44	16,39	18,18	1,79	16,35	17,36	1,01	16,31	17,02	0,71	16.26	16,85	0,59
Juli	14.53	18,47	3,94	15,46	16,79	1,33	15,56	16,34	0,78	15,62	16,10	0,48	15,64	15,94	0,30
August	15,53	20,00	4,47	16,12	17,62	1,50	16,20	17,09	0,89	16,26	16,84	0,58	16,24	16,72	0,48
September	12,57	16,61	4,04	13,66	14,90	1,24	13,96	14,72	0.76	14,19	14,67	0,48	14,36	14,59	0,23
October	6,02	8,36	2,34	7,06	7,56	0,50	7,60	7,83	0,23	8,13	8,19	0,06	8,22	8,22	0,00
Mittel:	12,79	17,09	4,30	13,52	14,84	1,32	13,64	14,40	0,76	13,77	14,27	0,50	13,79	14,16	0,37

Durch diese Sätze wird zunächst der Einfluss der Streudecke an sich auf die Bodentemperatur charakterisirt; sie sind in Folge dessen nicht ohne Weiteres auf die natürlichen Verhältnisse übertragbar, weil unter diesen der Boden gleichzeitig mit Bäumen bestanden ist. Dass unter solchen Umständen aber die Streudecke dieselbe Bedeutung für die Bodenerwärmung besitzt, weisen folgende vom Verfasser[1]) ermittelte Daten nach:

1887.	Lufttemperatur. °C.	Bodentemperatur in 25 cm Tiefe.			Temperaturschwankungen.		
		Fichten ohne Streudecke.	Fichten mit Streudecke.	Nackt.	Fichten ohne Streudecke.	Fichten mit Streudecke.	Nackt.
April	7,30	5,71	5,11	7,06	2,22	1,88	4,20
Mai	9,88	9,82	9,83	11,22	2,72	1,87	4,42
Juni	15,95	15,14	14,69	18,22	1,92	1,45	4,93
Juli	19,73	18,70	18,32	22,05	1,88	1,42	4,32
August	16,28	17,13	16,91	19,39	2,47	1,83	4,30
September	12,21	14,75	14,51	16,36	1,78	1,23	3,05
Mittel:	13,38	**13,57**	**13,26**	**15,75**	**2,17**	**1,61**	**4,15**

Hiernach hatte die Streudecke im Durchschnitt zu einer Erniedrigung der Bodentemperatur während der wärmeren Jahreszeit, sowie zu einer Verminderung der Temperaturschwankungen Veranlassung gegeben. Die Beeinflussung der Bodenwärme durch die Decke tritt noch deutlicher hervor, wenn man den Gang der Temperatur unter wechselnden äusseren Verhältnissen in Betracht zieht. Welche Unterschiede hierbei obwalten, lässt sich aus folgenden Zahlen ermessen:

Datum. 1887.	Lufttemperatur.	Der mit einer Streudecke versehene Fichtenboden war kälter (—) oder wärmer (+) als derjenige ohne Streudecke um folgende Temperaturgrade.
11.—15. April	5,19	— 0,48
16.—20. „	2,95	+ 0,14
21.—25. „	11,76	— 0,67
6.—10. Mai	10,47	— 0,15
11.—15. „	6,77	+ 0,46
16.—20. „	9,70	+ 0,10
21.—25. „	6,04	+ 0,29
26.—31. „	11,62	— 0,18
6.—10. August	19,33	— 0,56
11.—15. „	15,66	— 0,28
16.—20. „	13,81	+ 0,17
21.—25. „	12,53	+ 0,34
26.—31. „	18,67	— 0,84

Hiernach war der streubedeckte Boden bei steigender Temperatur kälter, bei sinkender dagegen wärmer als derselbe Boden ohne Streudecke. Aus diesen, wie aus den früher mitgetheilten Beobachtungen wird gefolgert werden müssen, ***dass die Streudecke vornehmlich die Temperaturextreme im Boden herab-***

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVII. 1894. S. 154.

mindert und zwar um so mehr, je mächtiger dieselbe ist. In Folge dessen hat sie die Bedeutung, dass sie gleichergestalt die Bodenerwärmung bei höherer Temperatur, wie die Bodenerkaltung bei niedriger Temperatur herabdrückt.

Der Einfluss der Streudecke auf die Bodenfeuchtigkeit macht sich, soweit der Boden nicht gleichzeitig mit Pflanzen bedeckt ist, in der Weise geltend, dass durch dieselbe eine nicht unbeträchtliche Erhöhung des Feuchtigkeitsvorrathes in dem Erdreich herbeigeführt wird, wie folgende Zahlen[1]) deutlich nachweisen:

Mittlerer Wassergehalt des Bodens in Gewichts-Procenten während des Sommerhalbjahres.

1883.					1884.				
Zahl der Bestimmungen.	Nackt.	Eichenlaub 5 cm.	Buchenlaub 5 cm.	Fichtennadeln 5 cm.	Zahl der Bestimmungen.	Nackt.	Moos 5 cm.	Buchenlaub 5 cm.	Fichtennadeln 5 cm.
12	20,24	26,51	27,18	27,57	17	16.59	19,57	27,27	28,22

Jahr.	Zahl der Bestimmungen.	Nackt.	Eichenlaub 2,5 cm.	Buchenlaub 2,5 cm.	Fichtennadeln 2,5 cm.	Kiefernnadeln 2,5 cm.	Moos.			
							2,5 cm.	5,0 cm.	7,5 cm.	10 cm.
1888	13	16,66	20,29	20,08	19,57	20,41	20,45	20,92	21,43	21,40
1889	23	17,99	19,22	19,71	19,40	20,16	20,51	20,75	21,10	21,54

Aus diesen Zahlen erhellt,

1. dass ein mit einer Streudecke versehener Boden während der wärmeren Jahreszeit beträchtlich feuchter ist als unbedeckter Boden von sonst gleicher Beschaffenheit,

2. dass der Wassergehalt des streubedeckten Bodens mit der Mächtigkeit der Streuschicht zunimmt, aber nicht proportional dieser, sondern in einem geringeren Grade.

Diese Wirkung der Streudecke auf die Bodenfeuchtigkeit beruht zunächst darauf, dass durch dieselbe der directe Einfluss der Verdunstungsfactoren auf den Boden gehemmt wird. Sowohl die Winde als auch die Insolation können unter solchen Umständen ihren austrocknenden Einfluss auf den Boden nicht mehr direct geltend machen, und um so weniger, je stärker die betreffende Deckschicht ist. Ausserdem trägt die Streu dadurch, dass sie eine Herabminderung der Bodentemperatur herbeiführt, zur Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit bei. Dazu kommt, dass sich in den den Boden bedeckenden Materialien organischen Ursprungs eine mit Wasserdampf gesättigte, und mehr oder weniger stagnirend erhaltende Luftschicht bildet, durch welche die Verdunstung gleichfalls aus dem Boden eine Einbusse erleidet. Für die durch die Streudecke bewirkte Herabsetzung der Verdunstung sprechen folgende Daten:

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XIII. 1890. S. 171.

Verdunstungsmengen pro 1000 qcm Fläche in ccm.

	Moos.					Eichenlaub.		Buchenlaub.		Fichtennadeln.		Kiefernnadeln.		Nackt.
	15 cm.	10 cm.	7,5 cm.	5,0 cm.	2,5 cm.	1 cm.	2,5 cm.	1 cm.	2,5 cm.	1 cm.	2,5 cm.	1 cm.	2,5 cm.	
An 20 Tagen d. Juli u. Aug. 1888	40	80	160	200	470	780	360	930	480	540	270	550	270	2030
„ 22 „ d. „ „ „ 1889	160	250	—	410	730	1080	630	1160	680	670	440	590	370	2020

Hiernach hatte der streubedeckte Boden beträchtlich geringere Wassermengen verdunstet als der nackte, und zwar war die durch die Streu hervorgerufene Verminderung der Verdunstung um so grösser, je mächtiger die Streuschicht war.

Aus derartigen Beobachtungen könnte die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass der Wassergehalt des bedeckten Bodens mit der Stärke der Streuschicht zunehmen müsste und zwar in einem beträchtlichen Grade. Dies ist jedoch nur in bedingter Weise der Fall, denn die in obigen Versuchen mitgetheilten Zahlen lassen auf das Deutlichste erkennen, dass eine Decke von 2,5 cm genügt, um den darunter liegenden Boden auf einem höheren Wassergehalt zu erhalten und dass die Bodenfeuchtigkeit bei weiterer Erhöhung der Streulage nicht wesentlich vermehrt wird. Diese Thatsache erklärt sich aus dem Umstand, dass eine Decke von 2,5 cm ausreicht, die Verdunstung in einem solchen Maasse zu beschränken, dass der Boden in einem mehr oder weniger gesättigten Zustande verharrt. Wird die Deckschicht über die angegebene Grenze hinaus erhöht, so wird dadurch keine Vermehrung des Wassergehaltes des Bodens, trotz weiterer Verminderung der Verdunstung, bewirkt, weil der Boden gesättigt bleibt und die überschüssigen Mengen in demselben absickern werden, oder die Streudecke eine mit ihrer Mächtigkeit zunehmende Wassermenge zurückhält. Um die hierbei maassgebenden Momente zu eruiren, wird es zunächst einer Darlegung der Wirkung der Streudecke auf die Sickerwassermengen im Boden bedürfen.

Die betreffenden mit Hilfe von Lysimetern ausgeführten Versuche des Verfassers[1]) führten zu folgenden Ergebnissen:

Datum.	Regenmenge mm.	Sickerwassermengen in mm.									
		Nackt.	Moos Dicranum		Moos Hypnum todt 5 cm.	Fichtennadeln 5 cm.	Kiefernnadeln 5 cm.	Eichenlaub 5 cm.	Buchenlaub		
			lebend.	todt 5 cm.					2,0 cm.	5 cm.	10 cm.
10./IV.—30./IX. 1882.	604,71	271.37	222,72	475,05	458,91	490,66	477,08	508,95	488,55	508,64	514.75
6./IV.—30./IX. 1883.	651,74	335,25	301,85	456,89	410,41	528,66	490,10	537,04	491,41	523,30	520,18
Mittel:	628,23	303,21	262,29	465,97	434,66	509,66	483,59	522,99	489,98	515,97	517,47

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XIII. 1890. S. 176.

Datum.	Regenmenge	Sickerwassermengen in mm.												
		Nackt.	Fichtennadeln.		Kiefernnadeln.		Eichenlaub.		Buchenlaub.		Moos (Hypnum) todt.			
	mm.		1 cm.	2,5 cm.	1 cm.	2,5 cm.	1 cm.	2,5 cm.	1 cm.	2,5 cm.	2,5 cm.	5,0 cm.	7,5 cm.	10 cm.
1./IV–31./XI 1888.	897,5	461,8	723,5	756,8	655,1	676,8	704,1	830,0	680,2	705,5	629,1	654,4	669,1	664,9

Bei Betrachtung vorstehender Zahlen lässt sich ohne Weiteres erkennen:

1. dass von derselben Niederschlagsmenge während der Vegetationszeit in dem nackten Boden beträchtlich geringere Wassermengen in die Tiefe absickern als in dem mit einer Streudecke versehenen Boden von sonst gleicher Beschaffenheit;

2. dass bereits eine Streudecke von 1 cm genügt, um die Sickerwassermengen in einem ausserordentlichen Grade zu vermehren, sowie dass die aus dem Boden abtropfenden Wassermengen mit der Mächtigkeit der Streuschicht in schwach aufsteigender Tendenz zunehmen bis zu einer bestimmten Grenze (etwa 5 cm), über welche hinaus bei weiterer Erhöhung der Streulage die nach unten abgegebenen Wassermengen sich gleich bleiben oder eine stetige Abnahme erfahren;

3. dass die Menge des im Boden absickernden Wassers durch eine lebende Moosdecke wesentlich vermindert wird im Vergleich zu einer abgestorbenen von sonst gleicher Beschaffenheit.

Abgesehen von Nebenumständen ist der ad 1 charakterisirte Einfluss der Streudecke auf die durch letztere bewirkte Verminderung der Verdunstung aus dem Boden und die damit Hand in Hand gehende Feuchterhaltung desselben zurückzuführen. Indem der bedeckte Boden einen grösseren Wassergehalt bewahrt als der nackte, sind die zum Ersatz des Verdunstungsverlustes erforderlichen Wassermengen naturgemäss in jenem Fall geringer als in diesem, weshalb sich dort eher und in grösseren Mengen ein für die Speisung der Drainwässer verbleibender Ueberschuss ergiebt als hier.

Im Uebrigen ist zur Erklärung der Ergebnisse dieser Versuche das Verhalten der Streudecke selbst zum Wasser in Betracht zu ziehen (S. 299). Da bei gleicher Mächtigkeit der Schicht die Verdunstungs- und Sickerwassermengen bei den Laub- und Nadelstreusorten annähernd gleich sind, das Verdunstungsvermögen bei dem Moose aber grösser und die aus demselben nach unten abgegebene Wassermenge geringer ist als bei vorbezeichneten Materialien, so werden hierin die Ursachen der Thatsache, dass die unter einer Laub- und Nadelstreudecke aus dem Boden unterirdisch abgeführten Wassermengen grösser sind als unter einer Moosdecke, gefunden werden müssen.

Ungleich schwieriger sind die Wirkungen verschieden hoher Streuschichten auf die Wasserführung des Bodens, wie solche in den vorliegenden Versuchen hervorgetreten sind, insofern zu erklären, als zwischen diesen und den bezüglich des Verhaltens der Streudecke zum Wasser angestellten sich in gewisser Hinsicht Abweichungen ergeben. Nach den S. 301 mitgetheilten Versuchsresultaten

nehmen die Sickerwassermengen aus der Streudecke mit der Mächtigkeit derselben bis zu 20 cm zu. Hieraus müsste geschlossen werden, dass auch die Drainwasser aus dem Boden, der mit einer verschieden starken Streulage bedeckt ist, um so ergiebiger sein müssten, je höher die Deckschicht bis zu jener Grenze ist, weil der Boden bei ca. 5 cm Höhe der Schicht mit Wasser gesättigt ist, und sich in diesem Zustande mit geringen Schwankungen, wie nachgewiesen, erhält. Dies ist jedoch nicht der Fall, denn nach den übereinstimmenden Resultaten vorstehend mitgetheilter Versuche sind die Werthe für die aus dem Boden absickernden Wassermengen bei einer über 5 cm hinausgehenden Mächtigkeit (bis 10 cm) so wenig von einander abweichend, dass dieselben als gleich betrachtet werden können. Dieser Umstand sowohl als auch die Thatsache, dass das Ansteigen der Sickerwassermengen aus dem Boden bei einer Mächtigkeit von 1—5 cm der Streudecke in einem viel geringeren Betrage erfolgt, als nach den Versuchen über die Verdunstung und Absickerung aus der Streudecke selbst hätte erwartet werden müssen, machen es wahrscheinlich, dass die Feuchtigkeitsverhältnisse der Streudecke durch den darunter liegenden Boden theilweise eine Modification erfahren, welche darin besteht, dass in der Streudecke in Folge der Auflagerung auf dem Boden grössere Feuchtigkeitsmengen zurückgehalten werden als in dem Falle, wo eine solche Unterlage fehlt.

Die Möglichkeit einer derartigen Abänderung des Verhaltens der Streudecke zum Wasser durch den Boden wird begreiflich, wenn man berücksichtigt, dass letzterer in Folge seiner Sättigung dem aus der Streu absickernden Wasser ein mechanisches Hinderniss entgegenstellt, und dass der Uebertritt aus der lockeren Decke in den festeren Boden überhaupt erschwert ist, während in dem Falle, wo die Streu auf dem durchlöcherten Boden der Lysimeter direct auflagert, der Abfluss des überschüssigen Wassers nicht gehindert ist.

Unter Berücksichtigung der zuletzt berührten Verhältnisse wird auf Grund der mitgetheilten Versuchsresultate angenommen werden dürfen, 1. dass in dem streubedeckten Boden die Feuchtigkeit und demgemäss die Sickerwassermenge mit der Höhe der Deckschicht mit schwach aufsteigender Tendenz bis ca. 5 cm Mächtigkeit der Streulage zunimmt, weil in gleichem Maasse die Verdunstung aus dem Boden herabgedrückt wird und diese Wirkung von grösserem Belang ist, als die durch die Streu zurückgehaltene Wassermenge; 2. dass von jener Grenze ab bei weiterer Erhöhung der Deckschicht bis ca. 10 cm Mächtigkeit derselben die Werthe für die Bodenfeuchtigkeit und die Sickerwassermengen sich annähernd gleich bleiben, weil die Wirkungen der Verdunstung und der Wassercapacität der Streudecke sich ausgleichen; 3. dass bei einer über 10 cm hinausgehenden Mächtigkeit der Deckschicht die Sickerwassermengen aus dem Boden stetig abnehmen, weil die Verdunstung aus letzterem sehr bedeutend herabgedrückt ist, die von der Streu selbst zurückgehaltenen Wassermengen aber so gross werden, dass der von derselben bedeckte Boden eine im Verhältniss zur Streulage stetig abnehmende Wassermenge erhält.

Die oben (S. 321) durch Satz 3 geschilderten Gesetzmässigkeiten lassen sich offenbar nur dadurch erklären, dass die lebende Moosdecke mehr Wasser an die Atmosphäre abgegeben hat als die todte. Ein Vergleich der betreffenden Daten lässt

in Bezug hierauf sogar sehr bedeutende Unterschiede erkennen. Dieses Resultat steht in grellem Widerspruch zu den Ergebnissen der Untersuchungen *F. Oltmann*'s über die Wasserbewegung in der Moospflanze und ihren Einfluss auf die Wasservertheilung im Boden[1]), nach welchen zwischen todtem und lebendem Moosrasen hinsichtlich der Verdunstung und der Einwirkung auf den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens vollständige Uebereinstimmung bestehen soll. Diese Widersprüche zu lösen, muss weiteren Versuchen vorbehalten bleiben.

In Bezug auf die Frage, ob die geschilderten Wirkungen der Streudecke auf die Bodenfeuchtigkeit und die unterirdische Wasserabfuhr in gleicher Weise auch im Bestande mit lebenden Pflanzen in die Erscheinung treten, haben die Untersuchungen des Verfassers[2]) ergeben, dass unter solchen Verhältnissen einige zum Theil sehr wesentliche Modificationen der allgemeinen Gesetzmässigkeiten sich bemerkbar machen.

Der Einfluss der Streudecke (Moos abgestorben, anfänglich 10 cm hoch) auf die Feuchtigkeit eines mit Fichten dicht bestandenen Bodens[3]) wurde, wie folgt, ermittelt:

Mittlerer Wassergehalt des Bodens bis zu 50 cm Tiefe in Gew.-Proc. während des Sommerhalbjahres.

Jahr.	Zahl der Bestimmungen.	Fichten ohne Streudecke.	Fichten mit Streudecke.
1887	24	13,25	15,14
1888	23	14,14	15,30
1889	23	15,71	16,66
1890	22	13,98	14,69
1891	25	14,76	15,04
Gesammtmittel:		**14,37**	**15,37**

Hiernach besass der streubedeckte Boden einen höheren Feuchtigkeitsgehalt als derjenige ohne Streudecke, aber die betreffenden Unterschiede waren ungleich geringer als in jenen Versuchen, in welchen der Boden nicht bepflanzt war. Bei Ergründung der Ursachen dieser Erscheinung hat man vor Allem die Verschiedenheiten im Wachsthum der Bäume, je nachdem der Boden mit einer Streudecke versehen ist oder nicht, in Betracht zu ziehen. Unter dem Einfluss einer solchen entwickeln sich die Forstgewächse kräftiger, sowohl in ihren ober- wie unterirdischen Organen, als in dem Falle, wo der Boden unbedeckt ist und zwar sowohl in Folge der besseren Feuchterhaltung des Erdreiches als auch wegen der Zufuhr von Nährstoffen, welche sich bei der Zersetzung der Streumaterialien bilden. Dies liess sich nicht allein durch blossen Augenschein ermessen, sondern wurde vom Verfasser auch ziffernmässig dadurch nachgewiesen, dass er die im Frühjahr 1892 abgeholzten, zu dieser Zeit 11 Jahre alten Bäume im grünen wie im trockenen Zustande wog und die Höhe

[1]) Inaugural-Dissertation der Universität Strassburg. 1884. In: Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Von *F. Cohn*. Bd. IV. Heft 1.

[2]) *E. Wollny*. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVII. 1894. S. 171.

[3]) Die Grösse der Parcellen betrug 2 qm. Der Boden beider Parcellen war zuvor sorgfältig gemischt und nach dem Setzen der Erde im Frühjahr 1886 mit je 5 fünfjährigen gesunden Fichten bei gleichmässiger Vertheilung derselben bepflanzt worden.

und den Umfang der Stämme feststellte. Die hierbei gewonnenen Resultate für je 5 elfjährige Pflanzen sind in folgender Tabelle übersichtlich zusammengestellt:

	Gewicht von je 5 Pflanzen in gr.				
	Ganze Pflanze	Lufttrocken			
	grüne.	Stämme.	Aeste.	Nadeln.	Summa.
Fichten ohne Streudecke	18350	3690	3820	3100	10610
„ mit „	23700	3980	5070	4500	13550.

Hiernach war das Gewicht der Fichten mit Streudecke höher als dasjenige der Fichten ohne Streudecke um

grün	lufttrocken
29,2%	27,7%.

Die Höhe der Stämme betrug im Mittel bei den

Fichten ohne Streudecke	Fichten mit Streudecke
1,52 m	1,55 m.

Der Umfang des Stammes wurde in $^1/_4$, $^1/_2$ und $^3/_4$ Höhe, wie folgt, gemessen:

	unten	mitten	oben	Mittel
Fichten ohne Streudecke	14,12 cm	9,96 cm	6,68 cm	**10,25** cm
„ mit „	14,92 cm	11,10 cm	7,74 cm	**11,25** cm.

Aus diesen Zahlen wird ersichtlich, dass die Streudecke das Wachsthum der Fichtenpflanzen und besonders dasjenige der transpirirenden Organe gefördert hatte. Letztere waren dem Gewicht nach bei solchen Pflanzen um **45,2%** stärker entwickelt als bei jenen ohne Streudecke.

Aus diesen Thatsachen wird gefolgert werden müssen, dass die Wirkungen der Streudecke auf die Feuchterhaltung des Bodens im Walde aus dem Grunde vermindert werden, als gleichzeitig unter dem Einfluss der Streuschicht das Wachsthum der Bäume gefördert wird und in Folge dessen die Entnahme von Wasser aus dem Boden seitens derselben eine Steigerung erfährt. Für die Richtigkeit dieser Schlussfolgerung spricht die aus vorstehend mitgetheilten Versuchen hervorgehende Thatsache, dass in Perioden starker Verdunstung der Wassergehalt des streubedeckten Bodens unter den des nichtbedeckten sinken kann, sowie, dass der Einfluss der Streudecke von Jahr zu Jahr eine stetige Abnahme erfuhr. Der mit einer Streudecke versehene Fichtenboden war nämlich feuchter als der unbedeckte um

im Jahre 1887 . . .	14,26%
„ „ 1888 . . .	8,24 „
„ „ 1889 . . .	6,05 „
„ „ 1890 . . .	5,08 „
„ „ 1891 . . .	1,89 „ .

Diese stetige Abnahme des Einflusses der Streudecke erklärt sich in einfacher Weise aus dem durch dieselbe allmählich geförderten Wachsthum der Fichten und der damit Hand in Hand gehenden Zunahme der Transpirationsgrösse der Pflanzen, eine Erscheinung, die zu der Annahme hindrängt, dass der oben geschilderte Einfluss der Streudecke auf die Bodenfeuchtigkeit in späteren Entwickelungsstadien der Forstgewächse wahrscheinlich aufgehoben wird und sich in entgegengesetzter Richtung geltend macht in dem Maasse, als die Pflanzen durch die bei der Zersetzung der Streumaterialien gebildeten und durch das eindringende atmosphärische Wasser dem Boden zugeführten Nährstoffe in ihrem Wachsthum gefördert werden.

Die Versuche über den Einfluss der Streudecke auf die Sickerwassermengen des mit Fichten bestandenen Bodens ergaben das auf den ersten Blick überraschende Resultat, dass die unterirdische Wasserabfuhr durch die Bodendecke nicht, wie man nach den bezüglichen Ergebnissen der Versuche mit unbepflanzten Böden hätte erwarten sollen, vermehrt, sondern vermindert wurden. Im sechsjährigen Durchschnitt (1887—1893) stellten sich die betreffenden Werthe, wie folgt:

Jahreszeiten[1]).	Nieder-schlags-menge mm.	Sickerwassermenge in mm.		Relatives Verhältniss.		
		Fichten ohne Streudecke.	Fichten mit Streudecke.	Nieder-schlags-menge.	Sickerwassermenge. Fichten ohne Streudecke.	Sickerwassermenge. Fichten mit Streudecke.
Frühling	185,07	50,52	46,06	100	35,4	24,9
Sommer	402,48	11,52	8,86	100	2,9	2,2
Herbst	270,42	23,06	19,98	100	8,5	7,4
Winter	127,22	39,64	33,09	100	31,2	22,1
Summa (Mittel):	**985,19**	**124,74**	**107,99**	**(100)**	**(12,7)**	**(11,0).**

Diese Zahlen lassen deutlich erkennen, dass die Absickerung des Wassers in die tieferen Schichten eines mit Waldbäumen besetzten Bodens durch das Vorhandensein einer Streudecke vermindert wird. Diese Thatsache lässt sich zunächst aus dem Umstande erklären, dass durch die Streudecke, wie oben dargethan wurde, das Wachsthum der Bäume eine Förderung erfahren hatte und damit gleichzeitig auch ihre Transpirationsgrösse. In der That war dies der Fall, denn es betrug vom 1. April bis 31. März des folgenden Jahres im sechsjährigen Durchschnitt (1887—1893) die

Niederschlagsmenge. mm	Verdunstungsmenge in mm. Fichten ohne Streudecke.	Verdunstungsmenge in mm. Fichten mit Streudecke.
990,6	**860,8**	**877,7**
	Relatives Verhältniss.	
100	**86,9**	**88,6.**

Ohne Zweifel werden sich aber noch verschiedene Nebeneinflüsse geltend gemacht haben. Zu diesen würde zu rechnen sein: Die Zurückhaltung des atmosphärischen Wassers seitens der Streudecke bei schwachen Niederschlägen und die mechanischen Hindernisse, welche das vergleichsweise unter dem Einfluss der Streudecke kräftiger entwickelte Wurzelsystem der Pflanzen der Bewegung des Wassers entgegensetzt.

Die Bedeutung der Streudecke für die Fruchtbarkeit des Waldbodens wird sich nach vorliegenden Darlegungen dahin zusammenfassen lassen, dass die bei der Zersetzung der betreffenden Materialien sich bildenden assimilirbaren Nährstoffe den Forstgewächsen zur Ernährung dienen und dass die Decke ausserdem eine Reihe von günstigen Functionen hinsichtlich der Structur-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse des Waldbodens ausübt. Die düngende Wirkung tritt vornehmlich dann in die Erscheinung, wenn die äusseren Umstände der Verwesung der im Walde sich ablagernden Pflanzenreste Vorschub leisten, dagegen kann in den Fällen, wo die Zersetzung einen anomalen Verlauf nimmt und sich aus den Laub- und Nadelabfällen sauere Humussubstanzen bilden, besonders auf

[1]) Meteorologische Jahreszeiten.

Sandböden, die Fruchtbarkeit des Bodens wesentlich geschädigt werden, und zwar durch Herbeiführung einer weitgehenden Verwitterung und Auswaschung von Nährstoffen (Verarmung) in den obersten Bodenpartien und Bildung einer durch Verhinderung des Eindringens der Wurzeln das Wachsthum der Pflanzen hemmenden, aus einer Verkittung der Sandkörner durch Humusstoffe entstandenen Bodenschicht, des Ortsteins. Die Erhaltung eines gewissen Lockerheitsgrades des Waldbodens ist hauptsächlich an jene Bedingungen gebunden, welche die Bildung von Mull aus den Streumaterialien veranlassen, während eine Verhärtung des Bodens eintritt, sobald die organischen Substanzen unter ungünstigen äusseren Verhältnissen in Rohhumus umgewandelt werden. Auf die Wärmeverhältnisse des Bodens wirkt die Streudecke vortheilhaft durch Abschwächung der Temperaturextreme ein. Hinsichtlich der Beeinflussung der Bodenfeuchtigkeit durch dieselbe lassen sich die einschlägigen Erscheinungen dahin präcisiren, dass die im Walde sich anhäufenden Pflanzenreste zunächst durch Beschränkung der Verdunstung zu einer Feuchterhaltung des Bodens beitragen, weiterhin aber die Wassermengen in letzterem vermindern, sobald das Wachsthum der Bäume durch die von jenen Materialien gelieferten Nährstoffe eine Förderung erfahren hat. Eine schädliche, durch eine weitgreifende Verarmung des Bodens an Wasser sich documentirende Wirkung kann die Bodendecke in dem Falle ausüben, wo deren Mächtigkeit sich übermässig vergrössert hat, derart, dass der grösste Theil der atmosphärischen Niederschläge von derselben aufgespeichert wird und die Masse zum grössten Theil in Torf übergeführt worden ist.

Dritter Abschnitt.

Die künstliche Beeinflussung der Zersetzung der organischen Stoffe.

An der Hand der im Bisherigen mitgetheilten Thatsachen wird es nunmehr möglich sein, die Maassnahmen näher zu kennzeichnen, mit deren Hilfe eine Regulirung der Processe, welche sich bei der Zersetzung der organischen Substanzen abspielen, in der Praxis der Bodencultur bewirkt werden kann. Um hierin sicher zu gehen, wird man sich vorerst darüber Klarheit zu verschaffen haben, welche allgemeinen Gesichtspunkte bei einer möglichst vollkommenen Ausnutzung der in den organischen Resten enthaltenen Nährstoffe hauptsächlich in Betracht zu ziehen seien.

I. Allgemeine Gesichtspunkte.

Die im ersten Abschnitt dieser Darlegungen angeführten Thatsachen lassen zur Evidenz erkennen, dass die beiden in land- und forstwirthschaftlicher Hinsicht wichtigsten Vorgänge, die Verwesung und Fäulniss, sowohl in Bezug auf die bedingenden Ursachen, als auch namentlich betreffs der Producte grundverschieden von

einander sind und deshalb nicht, wie dies ausserordentlich häufig geschieht, als identisch betrachtet werden dürfen. So lange der Sauerstoff bis zu einer gewissen Grenze freien Zutritt zu der organischen Substanz hat, treten bei der Zersetzung Oxydationsvorgänge (Verwesung), bei sehr beschränkter Zufuhr der Luft oder bei Abschluss derselben dagegen Reductionsvorgänge (Fäulniss) in die Erscheinung. Berücksichtigt man weiters, dass die Bildung assimilirbarer (resp. unschädlicher) Stoffe aus den dem Zerfall unterliegenden organischen Resten nur durch Verwesung stattfindet, während bei der Fäulniss aus denselben zum grössten Theil schwer aufnehmbare oder nicht verwerthbare (resp. schädliche) Verbindungen hervorgehen, und überdies Verluste an Stickstoff (Entbindung desselben im elementaren Zustande) eintreten, so wird aus alledem geschlossen werden müssen, ***dass eine vollkommene Ausnutzung der in den organischen Substanzen enthaltenen Nährstoffe und eine Verhütung der Bildung schädlicher Stoffe nur durch solche Maassnahmen im praktischen Betriebe erzielt werden kann, welche zu einer*** **Verwesung** ***der betreffenden Materialien Veranlassung geben und die Fäulniss thunlichst verhindern.***

Weiters wird das Bestreben des Praktikers darauf gerichtet werden müssen, die Zersetzungsprocesse in der Weise zu beeinflussen, dass alle hierbei stattfindenden Nährstoffverluste auf das geringste Maass herabgedrückt werden. Verluste solcher Art können einerseits durch Verflüchtigung werthvoller Bestandtheile, anderseits durch Auswaschung leicht löslicher Nährstoffe, welche sich bei der Zersetzung der organischen Reste bilden, hervorgerufen werden.

Ersteren Punkt anlangend, ist besonders die Thatsache in Betracht zu ziehen, dass bei der Verwesung stickstoffhaltiger organischer Substanzen Ammoniak gebildet wird, welches sich leicht verflüchtigen kann. Ein Verlust an diesem werthvollen Nährstoff wird hauptsächlich in grösserem Maassstabe eintreten, wenn die stickstoffhaltigen Bestandteile sich schnell zersetzen und in kürzeren Zeiträumen grosse Mengen flüchtigen Ammoniaks liefern, wie dies hauptsächlich bei gewissen Stickstoffverbindungen des Harns unserer Hausthiere der Fall ist, die sehr bald direct (Harnstoff) oder indirect, d. h. nach vorherigem Uebergang in andre Verbindungen (Hippursäure) in gasförmiges Ammoniumcarbonat übergeführt werden. Den Uebertritt desselben in die Atmosphäre zu hindern, bildet eine der vorzüglichsten Aufgaben der bei Herstellung der betreffenden Düngemittel in Anwendung zu bringenden Maassnahmen.

Ob im praktischen Betriebe auch Vorkehrungen zu treffen sind, einer etwaigen Abspaltung freien Stickstoffs bei der Zesetzung vorzubeugen, ist eine Frage, welche in dem Falle, wo die Bedingungen der Verwesung herbeigeführt worden sind, zur Zeit verneint werden muss; denn alle Versuche, welche eine solche Abspaltung freien Stickstoffs nachgewiesen haben sollen, sind nicht unter solchen Umständen ausgeführt worden, welche der Verwesung entsprechen, sondern unter denen, welche zu einer Fäulniss der Materialien Veranlassung geben. Dass in letzterem Falle Stickstoff im elementaren Zustande entbunden wird, ist allerdings durch zahlreiche Versuche erhärtet worden, kommt aber hier insofern nicht weiter in Betracht, als, wie angeführt, der in Rede stehende Process bei jenen Operationen, welche eine Regulirung der Zersetzungsprocesse bezwecken, vermieden werden soll.

Die Auswaschungen von Nährstoffen, hauptsächlich von den vom Boden nicht absorbirten Nitraten, erfolgen meist in einem solchen

Umfange, dass man im rationellen Betriebe der Landwirthschaft nicht wird unterlassen dürfen, denselben die grösste Aufmerksamkeit zuzuwenden. Die in dieser Weise alljährlich dem Ackerlande zugefügten Verluste an einem der werthvollsten Bestandtheile sind nach den Untersuchungen von *J. B. Lawes* und *J. H. Gilbert*[1]), sowie von *P. P. Dehérain*[2]) so bedeutend, dass es in der That als eine wesentliche Aufgabe der Cultur betrachtet werden muss, denselben mit allen zu Gebote stehenden Mitteln Einhalt zu thun.

Die Nitrate werden hauptsächlich in den obersten Schichten des Bodens gebildet, weil dort nicht allein die grösste Menge stickstoffhaltiger Bestandtheile vorhanden ist, sondern auch die günstigsten Bedingungen (Luft, Vorhandensein der nitrificirenden Organismen in grösster Menge u. s. w.) für die Nitrification obwalten. Je höher die Temperatur innerhalb gewisser Grenzen ist (bis 37° C.), um so intensiver verläuft die Salpeterbildung, vorausgesetzt, dass der Boden gleichzeitig feucht ist. In einem trockenen Boden kann keine Nitrification stattfinden, ebenso wenig in einem nassen; in letzterem werden vielmehr die vorhandenen Nitrate reducirt bis zur Entbindung freien Stickstoffs. Unter mittleren Feuchtigkeitszuständen entwickelt der in Rede stehende Process die grösste Energie.

Wenn nun Niederschläge dem Boden zugeführt werden, so lösen diese die Nitrate (hauptsächlich salpetersaurer Kalk) auf und führen dieselben, weil sie vom Boden nicht absorbirt werden, mit in die Tiefe, so dass sie schliesslich in grösserer oder geringerer Menge in den Drainwässern erscheinen.

Nach den Untersuchungen von *J. B. Lawes* und *J. H. Gilbert* betrug der jährliche Verlust an Stickstoff in Form von Nitraten durch die Drainwässer im nackten Boden (schwerer Lehm mit einem Untergrund von Thon, beide mit Kieseln gemischt) im vierjährigen Durchschnitt pro ha bei einer

Mächtigkeit der Bodenschicht von		
49 cm	98 cm	147 cm
51,0 kg	**40,7** kg	**48,1** kg

oder im Mittel: **46,6** kg. Bei einem Preise von 1,30 Mk. pro 1 kg Stickstoff berechnet sich sonach der durch die Drainage dem Ackerlande zugefügte Verlust in Geldwerth auf **60,58 Mk. pro ha.**

Indem der nackte Boden sich ziemlich gleichmässig feucht erhält (S. 168), kommt auch die Wärme auf die Nitrification in der Regel insofern zur Geltung, als im Sommer und in den darauf folgenden Monaten die ausgewaschenen Mengen von Stickstoff relativ und absolut grösser sind als in den übrigen Jahreszeiten, d. h. dass die durch die Sickerwässer abgeführten Stickstoffmengen zu dieser Jahreszeit unter Umständen grösser, bei kleineren Drainwassermengen relativ und absolut grösser sein können als bei grösseren Sickerwassermengen während der kälteren Jahreszeit. Durch die Wärme wird eben die Bildung der Salpetersäure befördert, und daher sind in der Mehrzahl der Fälle die Drainwässer vom Juli bis zum October am reichsten, vom April bis zum Juni, wenigstens im Klima Englands, am ärmsten an Nitraten. Dies ist aber nicht immer der Fall, und nur wenn die Wärme zur

[1]) *J. B. Lawes* und *J. H. Gilbert.* Journ. of the royal. agr. Soc. of England. Vol. XVII. Part. I and II. — Vol. XVIII. Part III and IV.

[2]) *P. P. Dehérain.* Annales agronomiques. T. XVI. p. 337. — T. XVII. p. 49. — T. XVIII. p. 273. — T. XIX. p. 65. — T. XX. p. 21. — T. XX. p. 449. — T. XXI. p. 193.

vollen Wirkung gelangen kann, d. h. wenn der Boden feucht und für die atmosphärische Luft zugänglich ist.

In dem Betracht, dass in dem nackten, brachliegenden Boden die Drainwassermengen im Allgemeinen mit den Niederschlagsmengen steigen und fallen[1]), kann es nicht Wunder nehmen, dass die Niederschlagshöhe unter sonst gleichen Verhältnissen für die Stickstoffverluste im Boden sich besonders belangreich erweist. Je grösser die Regen- und in Folge dessen die Drainwassermenge ist, um so intensiver erfolgt im Durchschnitt die Auswaschung der Nitrate und umgekehrt. Dies gilt sowohl für verschiedene Jahresdurchschnitte, als auch für die einzelnen Jahreszeiten. In betreff des ersteren Punktes lassen einige von *Lawes* und *Gilbert* ermittelte Daten deutlich die Abhängigkeit der Nitratverluste von der Niederschlagshöhe resp. von der dieser entsprechenden Drainwassermenge erkennen, wie folgende Zahlen darthun:

Jahr. (1. October bis 30. September.)	In 49 cm Tiefe.		In 98 cm Tiefe.		In 147 cm Tiefe.	
	Drainwasser cm.	Stickstoffverlust pro ha in kg.	Drainwasser cm.	Stickstoffverlust pro ha in kg.	Drainwasser cm.	Stickstoffverlust pro ha in kg.
1879—1880	23,87	**44,6**	25,27	**30,7**	22,91	**31,5**
1877—1878	35,75	**49,2**	40,68	**43,6**	38,67	**50,9**
1878—1879	65,49	**69,8**	65,92	**54,1**	61,71	**70,9.**

Die dem nackten Boden entzogenen Stickstoffmengen nehmen sonach mit den Drainwassermengen, welche den Niederschlagsmengen folgen, zu und ab.

Im Uebrigen ist die Grösse des Stickstoffverlustes in dem nackten Boden von der durchschnittlichen und zeitlichen Vertheilung der Niederschläge abhängig. In Klimaten mit Sommerregen (Mitteleuropa) findet die stärkste Wasserabfuhr in die Tiefe im Sommer, in solchen mit Herbstregen (England) im Herbst statt. Dementsprechend stellt sich auch die Auswaschung der Nitrate, die schon insofern in den bezeichneten Jahreszeiten im grössten Umfange erfolgen muss, als in diesen gleichzeitig die günstigsten Bedingungen zu einer energischen Nitrification gegeben sind. In dem kälteren Jahresabschnitt, in welchem die Sickerwassermengen geringer und die Oxydationsvorgänge weniger intensiv sind als während des wärmeren, ergiebt sich insofern ein Unterschied in der unterirdischen Absickerung und in Folge dessen in den verloren gehenden Stickstoffmengen, als in Gegenden mit strengen Wintern (Deutschland) die Sickerwassermenge eine spärliche und erst im Frühjahr wieder eine beträchtliche ist, während in milden Klimaten (England) der umgekehrte Fall eintritt und im Frühjahr die Absickerung des Wassers im Vergleich zu allen übrigen Jahreszeiten im geringsten Umfange erfolgt. Diese Unterschiede erklären sich in einfacher Weise aus der Thatsache, dass in letzterem Fall der Boden während des Winters selten gefriert und der Schnee leicht aufthaut, im ersteren Fall der Boden dagegen in dieser Jahreszeit gefriert, dadurch undurchlassend wird, erst im Frühjahr aufthaut und die aus dem Schnee abschmelzenden Wassermassen abführt[2]).

Der mit landwirthschaftlichen Nutzgewächsen bestandene Boden zeigt sowohl in Bezug auf die Grösse des durch Auswaschung der Nitrate bedingten Stickstoffverlustes,

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XI. 1888. S. 59.
[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. XI. 1888. S. 59.

als auch hinsichtlich der Jahreszeit, während welcher derselbe hauptsächlich stattfindet, von dem nackten Lande sehr wesentliche Abweichungen. Diese documentiren sich zunächst darin, dass in dem bebauten Lande, sobald dasselbe nicht mit Ammoniaksalzen oder Chilisalpeter gedüngt wird, die abgeführten Nitratmengen ungleich geringer sind als in dem brachliegenden. Nach den diesbezüglichen Versuchen von *Lawes* und *Gilbert* betrug bei dem Anbau von Weizen der Stickstoffverlust im 30jährigen Durchschnitt 4,56—5,44 kg pro ha. Derselbe war demnach bedeutend geringer als im nackten Lande. Diese Unterschiede erklären sich aus der Thatsache, dass einerseits die Pflanzen die im Boden befindlichen Nitrate assimiliren und dass sie andererseits während ihres Wachsthums, also besonders während der wärmeren Jahreszeit, so viel Wasser in Anspruch nehmen, dass die unterirdische Absickerung dadurch in einem ausserordentlichen Grade vermindert wird. Erst nach der Ernte erscheinen die Nitrate in dem Drainwasser und werden wiederum in grösseren Mengen während der vegetationslosen Zeit abgeführt.

Die Stickstoffverluste im bebauten Lande sind, wie die Versuche von *Lawes* und *Gilbert* darthun, beträchtlich, wenn das Wachsthum der Pflanzen in Folge mangelnden Nährstoffvorrathes ein schwächliches ist, und sie nehmen ab in dem Grade, als durch geeignete Düngungen die Entwickelung der Pflanzen gefördert wird. Im Uebrigen ist der Umfang, in welchem die Auswaschungen der Nitrate erfolgen, von der Fähigkeit der Pflanzen, die salpetersauren Salze des Bodens sich anzueignen, sowie von der Vegetationsdauer der Gewächse abhängig. Wo, wie bei permanentem Graswuchs, der Boden beständig mit einer Vegetation bedeckt ist, wird die grösste Menge von Nitraten von den Pflanzen nutzbar gemacht und geht die geringste Menge von Stickstoff durch die Drainage verloren. Bei den übrigen Nutzgewächsen ist der Stickstoffverlust um so grösser, je länger die Dauer der vegetationslosen Zeit ist.

Einen weiteren Einblick in die in Rede stehenden Verhältnisse gewähren die von *P. P. Dehérain* angestellten Versuche, durch welche nicht allein die Ergebnisse der Beobachtungen von *Lawes* und *Gilbert* bestätigt, sondern auch in manchen wichtigen Punkten vervollständigt werden. Besonders bemerkenswerth sind die Resultate der Versuche in den beiden Jahren 1893—94 und 1894—95 insofern, als in Folge von Verschiedenheiten in den Witterungszuständen das Wachsthum der Pflanzen und die Bildung der Drainwässer wesentliche Abweichungen zeigten.

Die Witterung (für die Periode März bis März des folgenden Jahres) war in den beiden Jahren zunächst darin verschieden, dass die Niederschlagsmenge 1893—94 grösser (490,7 mm) war als im Jahre 1894—95 (419,8 mm). Auch in Bezug auf die Regenvertheilung stellten sich nicht unbeträchtliche Unterschiede heraus: während in den Monaten April—Juni 1893 62,5 mm fielen, betrug die Niederschlagshöhe 1894 126,5 mm. Aus diesem Grunde wurden in letzterem Jahre weit höhere Ernten erzielt als in jenem. Während der Monate Juli—September waren auch die Niederschläge für die Rüben 1894 günstiger als 1893, denn sie betrugen 194,6 mm gegenüber 169,7 mm. Für den Winter stellten sich diese Werthe umgekehrt: 1893: 258,7 mm, 1894: 98,7 mm.

Während in Folge der Trockenheit im Frühjahr und der relativ geringen Regenmenge im Sommer selbst auf den nackten Parcellen im Jahre 1893 vom 2. März bis 9. October kein Drainwasser abfloss, wurde im Jahre 1894 eine stärkere unter-

irdische Wasserabfuhr beobachtet. Zwar war letztere in den Frühlingsmonaten gleich Null, aber der Juliregen durchfeuchtete derart den Boden, dass bereits Anfang August Wasser abfloss und sich dies im September fortsetzte. Der darauf folgende trockene Winter bedingte eine sehr schwache Absickerung.

In Folge des durch die Witterung begünstigten Wachsthums der Pflanzen war die Drainwassermenge im Jahre 1894 in den cultivirten Böden eine sehr geringe. Die Pflanzen nahmen fast alles während des Sommers niedergefallene Wasser für sich in Anspruch, derart, dass der Boden nach der Ernte nur einen niedrigen Feuchtigkeitsgehalt besass. Aus diesem Grunde und weil die Niederschläge im Herbst und im Winter wenig ergiebig waren, floss auch während der kälteren Jahreszeit wenig Wasser ab. Im Jahre 1893 erfolgte die Absickerung vom October ab in einem beträchtlichen Grade. Ueber die Ernten, sowie über die Drainwässer und die durch diese herbeigeführten Auswaschungen der Nitrate giebt die folgende Tabelle Auskunft:

Culturen.	1893—1894.			1894—1895.		
	Gewicht der Ernte (93).	Drainwassermenge mm	Stickstoff in den Drainwassern kg pro ha.	Gewicht der Ernte (94).	Drainwassermenge mm.	Stickstoff in den Drainwassern kg pro ha.
Brach (nackt) . . . (Mittel aus 4 Versuchen)	—	107,2	101,8	—	76,1	76,5
Weizen . . . . . (Mittel aus 3 Versuchen)	Körner 14,8 q. m. Stroh 26,5 „	72,0	49,7	Körner 23,0 q. m. Stroh 9750 kg	1,2	0,08
Hafer und Klee. . . (Mittel aus 3 Versuchen)	Körner 13,8 „ Stroh 37,5 „	60,5	22,9	Körner 40,6 q. m. Stroh 9316 kg	3,6	0,35
Zuckerrüben . . . . (Mittel aus 3 Versuchen)	23833 kg	49,2	23,1	38333 kg	2,5	0,11
Samenrüben . . . . (Mittel aus 3 Versuchen)	Körner 1760 kg	68,6	31,8	Körner 1533 kg	3,1	0,51
Kartoffeln . . . . . (Mittel aus 3 Versuchen)	28833 kg	67,9	30,6	—	—	—
Raygras (1 Versuch) .	4500 kg	75,2	36,9	5625 kg	9,5	0,95

Aus diesen Daten ergiebt sich, abgesehen von Nebenumständen, mit aller Deutlichkeit, dass die unterirdische Abfuhr des Wassers und die damit Hand in Hand gehende Auswaschung der Nitrate im nackten Lande sehr beträchtlich ist im Vergleich zu den Verlusten, welche das bebaute Land unter sonst gleichen Verhältnissen erleidet und dass im Uebrigen für die in Rede stehenden Vorgänge einerseits die Höhe der Ernten, d. i. der Entwickelungsgrad der Pflanzen, und andererseits der Gang der meteorologischen Elemente maassgebend ist. Im Jahre 1893/94 war die Drainwassermenge, ebenso der Verlust an Nitraten sehr gross, weil wegen der andauernden Trockenheit im Frühjahr das Wachsthum der Pflanzen ein schwächliches, in Folge dessen deren Productionsvermögen ein geringes war und während der kälteren vegetationslosen Zeit dem Boden sehr beträchtliche Niederschlagsmengen zugeführt wurden. Im Jahre 1894/95 entwickelten sich die Pflanzen wegen günstiger Vertheilung der Niederschläge in der Wachsthumsperiode sehr üppig; sie entzogen deshalb dem Boden viel Wasser, weshalb die Drainwassermenge und die Nitratauswaschungen in den mit Pflanzen besetzten Parcellen äusserst gering waren, zumal

die atmosphärische Wasserzufuhr in der der Ernte folgenden vegetationslosen Zeit verhältnissmässig schwach und nicht ausreichend war, den vorher durch die Vegetation ausgetrockneten Boden derart zu sättigen, dass während dieser Zeit eine ergiebigere Absickerung stattfinden konnte.

Neben der Niederschlagshöhe ist demnach der Wachsthumsgrad der Pflanzen für die Drainwassermenge und die durch letztere hervorgerufenen Stickstoffverluste von hervorragender Wichtigkeit, woraus geschlossen werden darf, dass auch die Düngung, wenn durch dieselbe die Entwickelung der Pflanzen eine Förderung erfährt, hierbei eine Rolle spielen wird. Dass diese Annahme den thatsächlichen Verhältnissen entspricht, lehren einige von *A. Petermann*[1]) angestellte Versuche, in welchen mit Erde gefüllte, 1,20 m tiefe und 1 qm im Querschnitt fassende Vegetationsbehälter mit Zuckerrüben bestellt und die Sickerwasser gemessen und analysirt wurden. Die Behandlung des im Uebrigen gleich beschaffenen Bodens war folgende: I. ohne Ersatz der entnommenen Nährstoffe; II. mit Ersatz der Mineralstoffe; III. mit Ersatz des Stickstoffs[2]); IV. mit Ersatz der Mineralstoffe und des Stickstoffs[2]). In der folgenden Tabelle sind die in verschiedenen Jahren ermittelten Drainwassermengen und die Ernten (Wurzeln und Blätter) übersichtlich zusammengestellt worden:

Jahr.	Regenhöhe	I.		II.		III.		IV.	
		Ernte	Drainwasser	Ernte	Sickerwasser	Ernte	Drainwasser	Ernte	Sickerwasser
	mm.	kg.	mm.	kg.	mm.	kg.	mm.	kg.	mm.
1882	547	3,850	156	4,575	116	5,540	108	7,180	80
1881	483	2,600	111	3,260	80	4,215	65	5,180	50
1886	404	3,200	54	4,440	47	5,400	36	5,940	25
1884	384	2,460	40	3,880	21	5,120	20	5,880	12

Je grösser die Regenmenge und je geringer die Ernte, um so grösser war hiernach die unterirdische Wasserabfuhr und umgekehrt. Der durch Auswaschung von Nitraten herbeigeführte Stickstoffverlust (pro ha in kg) stellte sich, wie folgt:

Jahr.	I. und II. ohne Stickstoff.	III. und IV. mit Stickstoff.
1882	14,8	11,9
1881	13,6	10,9
1886	6,6	4,4
1884	3,0	2,1.

Trotz der Stickstoffzufuhr war mithin die abgeführte Nitratmenge geringer als ohne eine solche, eine Erscheinung, die sich aus der vermehrten Production pflanzlicher Substanz im ersteren Falle erklärt, denn diese bedingt einen grösseren Stickstoffverbrauch einerseits, und eine stärkere Entnahme des Wassers seitens der Pflanzen aus dem Boden andererseits. Im Uebrigen lehren die Ergebnisse des Versuchs, dass die dem Boden durch die Drainwasser entzogenen Stickstoffmengen mit den Regenmengen steigen und fallen.

---

[1]) *A. Petermann.* Bulletin de la station agronomique de l'État à Gembloux. Nr. 45. 1889.
[2]) In Form von Chilisalpeter.

Wenn nun aus solchen, wie den vorstehend mitgetheilten Versuchen auch geschlossen werden darf, dass durch die Düngung die Stickstoffauswaschungen herabgesetzt werden, so ist dies doch nicht immer der Fall, wie sowohl die Versuche von *Lawes* und *Gilbert*, als auch jene von *Dehérain* und *Petermann* gezeigt haben. Erstgenannte Forscher fanden, dass die durch die Drainwasser bewirkten Nitratverluste mit der Menge der dem Boden zugeführten Ammoniaksalze wachsen, unter Umständen in sehr bedeutendem Grade, doch sind diese Ergebnisse auf die Verhältnisse im Grossen nicht ohne Weiteres übertragbar, weil in diesen Versuchen ganz abnorme Mengen von den bezeichneten Dungsalzen verwendet wurden. Immerhin ist die andere Thatsache, die diese Untersuchungen klar stellten, von Wichtigkeit, dass bei Düngungen mit Mineralstoffen, welche das Wachsthum der Pflanzen förderten, die Nitratauswaschungen vermindert wurden. In den Versuchen von *Dehérain*, in welchen bei der Stickstoffzufuhr Chilisalpeter verwendet wurde, zeigte sich der Stickstoffverlust in solchen Parcellen vielfach erhöht, gegenüber jenen, welche keine derartige Düngung oder eine solche mit Stallmist erhalten hatten. In Uebereinstimmung mit *Lawes* und *Gilbert* fand *Dehérain* die in praktischer Hinsicht wichtige Thatsache, dass der Stickstoff im Stalldünger, sowie in Düngemitteln von organischer Beschaffenheit, ebenso in den Wurzelrückständen überhaupt weniger leicht ausgewaschen wird, als der in Ammoniaksalzen oder Chilisalpeter enthaltene, offenbar deshalb, weil der Stickstoff in jenen Materialien erst allmählich, nach Maassgabe ihrer Zersetzung, in den assimilirbaren Zustand übergeht.

Bemerkenswerth sind auch die Ergebnisse eines von *A. Petermann* (a. a. O. Nr. 47 1890) mit Lupinen ausgeführten Versuchs, in welchem die Vegetationsgefässe, wie folgt, behandelt waren: Der Boden (Sand) in I blieb ungedüngt; in II erhielt er eine Mineraldüngung; in III wurde dieselbe Düngung mit Mikroben gegeben; in IV wurde neben dem Mineraldünger Chilisalpeter; in V ausser ersterem schwefelsaures Ammoniak zugeführt, während in VI der Boden mit Mineraldünger und Blutmehl gedüngt wurde. Die Stickstoffzufuhr betrug in den Gefässen IV—VI: 27,6 gr; der Boden enthielt ursprünglich: 6,5786 gr N. Von den hier in Betracht zu ziehenden Versuchsresultaten mögen folgende hier eine Stelle finden:

	Gesammternte, ober- u. unterirdische Organe. (Trockensubstanz).	Drainwassermenge. mm	Stickstoff in der Ernte. gr	Stickstoff in den Drainwässern. gr
I	68,4 gr	281,64	0,8952	0,2290
II	236,5 „	237,85	4,8453	0,1764
III	223,5 „	238,53	4,6509	0,2280
IV	445,0 „	190,88	8,0459	19,0254
V	447,8 „	184,75	8,0416	12,8697
VI	809,0 „	145,05	10,0044	4,5196.

Auch in diesem Versuch stand zwar die Drainwassermenge in einem umgekehrten Verhältniss zum Productionsvermögen der Pflanzen, aber nicht zu den entführten Stickstoffmengen. Dies war annähernd nur der Fall auf den lediglich mit Mineralstoffen gedüngten Parcellen, dagegen fand auf jenen, welche eine Düngung mit Chilisalpeter und schwefelsaurem Ammoniak erhalten hatten, eine starke Auswaschung von Nitraten (zum Theil auch von Ammoniak auf Parcelle V) statt, weil der in jenen Materialien enthaltene Stickstoff von den Pflanzen nur zum Theil verwerthet wurde

und der verbleibende Rest der betreffenden Salze in Folge des grossen Durchlässigkeitsvermögens des Bodens für Wasser durch die Drainwässer leicht abgeführt werden konnte. Der Verlust war ein sehr bedeutender, denn er betrug bei dem Chilisalpeter 190 kg, bei dem schwefelsauren Ammoniak 129 kg Stickstoff pro ha. In den Versuchen von *Lawes* und *Gilbert* stellte sich der Verlust auf den Weizenfeldern bei einer Düngung von 96,4 kg Stickstoff in Form von Ammoniaksalzen im 30jährigen Durchschnitt auf 34,7 kg bei Zugabe der stärksten Mineraldüngung und auf 48,4 kg bei Düngung mit Ammoniaksalzen allein. Im Uebrigen zeigen die *Petermann*'schen Versuche von Neuem, dass die Zufuhr des Stickstoffs in organischer Form (Blutmehl) mit einer weit geringeren Auswaschung von Nitraten verknüpft war, als bei einer solchen von löslichen stickstoffreichen Salzen (Chilisalpeter und schwefelsaures Ammoniak[1]).

Die mitgetheilten Thatsachen, welche in mehrfacher Beziehung von praktischer Wichtigkeit sind, lassen sich dahin zusammenfassen,

1. dass die Culturländer alljährlich Stickstoffverluste durch Auswaschung von Nitraten, welche vom Boden nicht absorbirt werden, in mehr oder minderem Grade erleiden, bis zu **120 kg Stickstoff pro ha** und darüber;

2. dass die Wirkung der Drainwässer in dieser Richtung um so grösser ist, je länger der Boden im brachliegenden Zustande verbleibt und je ergiebiger gleichzeitig die Niederschläge sind und umgekehrt;

3. dass auf dem mit Pflanzen bestandenen Boden die Abfuhr der Nitrate in die Tiefe in dem Grade abnimmt, als die Pflanzen sich in Folge günstiger Witterungsverhältnisse, geeigneter Düngung oder rationeller Culturmaassregeln kräftiger entwickelt haben und je länger ihre Vegetationszeit ist und vice versa;

4. dass die Gefahr eines grösseren Stickstoffverlustes auf dem in Rede stehenden Wege unter sonst gleichen Verhältnissen in dem Maasse wächst, je günstiger die Bedingungen für die Salpeterbildung sind, je grösser die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser ist und je weniger die Pflanzen die in den Düngemitteln zugeführten Stickstoffmengen in Anspruch nehmen;

5. dass die Nitrate bei Stickstoffdüngungen in um so geringerem Umfange in die Tiefe abgeführt werden, je mehr das Wachsthum der Pflanzen an sich oder durch gleichzeitige Zugabe von Mineralstoffen gefördert ist;

6. dass die Nitratverluste bei Anwendung von Düngemitteln organischen Ursprungs wesentlich geringer sind als bei Zufuhr des Stickstoffs in Form von löslichen Salzen (Natronsalpeter und schwefelsaures Ammoniak).

Mit Hilfe dieser Gesetzmässigkeiten lässt sich, wie in Folgendem gezeigt werden soll, ermessen, in welcher Weise es möglich ist, die geschilderten Verluste an einem der werthvollsten Bestandtheile der Ackererde erfolgreich zu beschränken.

---

[1]) Dafür, dass in den *Petermann*'schen Versuchen auch ein Theil der Ammoniaksalze, welche gewöhnlich von der Ackererde stark absorbirt werden, ausgewaschen wurde, spricht die Thatsache, dass die benützte Bodenart (Quarzsand) nur ein geringes Absorptionsvermögen besitzt.

II. Die Beeinflussung der Zersetzung der organischen Stoffe durch Abänderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens.

1. Die mechanische Bearbeitung des Bodens.

Bereits bei einer anderen Gelegenheit wurde der Nachweis geführt, dass die Zersetzung der organischen Stoffe in den verschiedenen Bodenarten, je nach deren mechanischer Beschaffenheit, einen sehr verschiedenen Verlauf nimmt. In feinkörnigen Böden herrscht, soweit dieselben keine zweckentsprechende Veränderung erfahren, die Fäulniss vor, während in Böden von grobkörniger Beschaffenheit in der Regel Verwesung stattfindet. Diese Unterschiede werden dadurch hervorgerufen, dass in jenen wegen der ausserordentlichen Feinheit der Poren und weil sie sich bei atmosphärischen Niederschlägen mit Wasser sättigen, die Luftzufuhr nicht ausreichend ist, kräftige Oxydationsvorgänge hervorzurufen. Folge hiervon ist, dass die im Boden befindlichen Pflanzenreste oder die demselben zugeführten Düngemittel organischen Ursprungs der Fäulniss unterliegen, also jenem Process, bei welchem nicht allein der Uebergang der in jenen Materialien enthaltenen Nährstoffe in den assimilirbaren Zustand in höchst unvollkommener Weise stattfindet, sondern auch, abgesehen von der Bildung, dem Pflanzenwachsthum schädlicher Stoffe (Humussäuren, schwefelsaures Eisenoxydul u. s. w.) Nährstoffverluste durch Reduction der Nitrate und schliessliche Entbindung freien Stickstoffs hervorgerufen werden. Die grobkörnigen Böden hingegen besitzen in Folge der lebhaften Luftcirculation in denselben eine Beschaffenheit, welche bedingt, dass die Zersetzung aller vorhandenen Stoffe einen normalen Verlauf (Verwesung) nimmt. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn der Boden mit den nöthigen Feuchtigkeitsmengen versehen ist. In Bezug auf dieses Erforderniss weisen jedoch derartige Böden meistentheils eine mangelhafte Beschaffenheit auf. Bei ausreichender Durchfeuchtung findet andererseits die Verwesung in dem grobkörnigen Boden in einem so starken Grade statt, dass die hierbei gebildeten Nährstoffe von dem Boden nicht genügend absorbirt oder von den Pflanzen nicht vollständig aufgenommen werden, so dass sie leicht zum grösseren oder geringeren Theil ausgewaschen werden, zumal gerade in solchen Böden wegen ihrer grossen Permeabilität die Absickerung des Wassers in die Tiefe eine sehr ergiebige zu sein pflegt.

Weiters ist in Betracht zu ziehen, dass das sich selbst überlassene und sich stetig fester lagernde Land um so mehr der behufs Herbeiführung eines normalen Verlaufs der Zersetzungsprocesse erforderlichen Luftzufuhr entbehrt, je tiefer die Schichten des Bodens liegen. In demselben Maasse wird nicht allein die Intensität der Zersetzung eine Abnahme, sondern auch dieser Vorgang selbst eine für die Bildung assimilirbarer Nährstoffe nachtheilige Abänderung erfahren, und zwar um so eher, je weniger der Boden an sich der Luft sich zugänglich zeigt.

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse gelangt man zu dem Schluss, dass der mechanischen Cultur die Aufgabe zufällt, die Böden zunächst zu wenden, d. h. die tiefer liegenden Schichten an die Oberfläche zu bringen, die feinkörnigen Böden der Luft zugänglich zu machen und den grobkörnigen eine Beschaffenheit zu ertheilen, dass sie das zugeführte Wasser möglichst conserviren und aufzuspeichern vermögen. Zu diesem Zweck stehen dem Praktiker die verschiedenartigsten Mittel zur Verfügung.

Bei der Bearbeitung des Bodens mit dem *Pfluge* handelt es sich zunächst darum, die tieferen Schichten mit möglichst grosser Oberfläche an die Atmosphäre zu bringen, d. h. eine entsprechende Wendung der Ackerkrume herbeizuführen, eine Arbeit, zu welcher bezeichnetes Instrument allein tauglich erscheint. Demnächst handelt es sich, soweit die Regulirung der organischen Processe dabei in Betracht kommt, um eine Lockerung des Erdreiches, die um so grössere Schwierigkeiten bietet, je bindiger dasselbe ist, und zwar nicht allein wegen der Widerstände, welche die Ackerwerkzeuge zu überwinden haben, sondern auch weil die Auswahl der Mittel zur Herbeiführung der normalen Structur eine äusserst sorgfältige Berücksichtigung aller mitwirkenden Factoren erfordert. Aus diesen Gründen hat die Frage, in welcher Weise und bis zu welchem Grade die Bodenmasse auf den bindigeren Bodenarten zertrümmert werden muss, damit der Zerfall der organischen Stoffe in normaler Weise vor sich gehen kann, das Interesse zunächst in Anspruch zu nehmen.

Die Lagerungsverhältnisse der Bodentheilchen lassen hauptsächlich nach zwei Richtungen wesentliche Unterschiede erkennen, die darin bestehen, dass entweder die einzelnen Partikel, wie in einem Pulver, mehr oder weniger dicht aneinander gelagert sind, oder dass die Bodenelemente in mehr oder minderer Zahl zu Aggregaten (Krümeln, Bröckchen) sich vereinigen, zwischen welchen grössere Hohlräume sich bilden, die in mehrfacher Beziehung sehr durchgreifende Veränderungen in der physikalischen Beschaffenheit der Bodenmasse herbeiführen. Da in dem ersteren Fall, wo der Boden in seine einzelnen Partikel zerlegt ist, die Grösse der zwischen diesen befindlichen, für die Luft- und Wasserbewegung maassgebenden Poren von der Grösse und Form der Theilchen zum grössten Theil abhängig ist, so bezeichnet man diese Art der Zusammenlagerung der Bodenelemente mit „Einzelkornstructur". Aus demselben Grunde wird in dem zweiten Fall, wo die Krümel für die mechanische Beschaffenheit des Bodens vornehmlich von Bedeutung sind, zweckmässig der Ausdruck: „Krümelstructur" gewählt werden dürfen. Die Krümelbildung, auch Flockung (flocculation) genannt, findet hauptsächlich nur in bindigeren und humusreichen Bodenarten statt. In Sandböden und grobkörnigeren Bodenarten überhaupt zerfallen die etwa entstehenden Aggregate sehr leicht [1]).

Die Krümelbildung, wie solche in jeder normal bearbeiteten Ackerkrume beobachtet wird, ruft eine tiefeingreifende Veränderung in der Bodenmasse bezüglich des Verhaltens derselben der Luft, dem Wasser und der Wärme gegenüber hervor, wie sich sofort bei einer Prüfung des Bodens im pulverförmigen und krümeligen Zustande nach diesen Richtungen hin ergiebt.

Die Unterschiede in dem Verhalten des in Einzelkorn- und Krümelstructur befindlichen Bodens geben sich vorerst durch einen verschiedenen Luftgehalt zu erkennen. So betrug die Luftcapacität, ausgedrückt in Volumprocenten, bei einem Lehmboden [2]):

	Lufttrocken	bei kleinster	bei mittlerer	bei grösster
		Wassercapacität.		
Einzelkornstructur	52,99	13,27	8,71	0,61
Krümelstructur	55,76	25,88	22,12	14,22.

[1]) *E. W. Hilgard.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. II. 1879. S. 441.
[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. VIII. 1885. S. 369.

Der Boden im pulverförmigen Zustande enthält sonach weniger Luft als im krümeligen, und zwar wachsen diese Unterschiede mit zunehmendem Wassergehalt. Die Ursache letzterer Erscheinung ist hauptsächlich darin zu suchen, dass in dem pulverförmigen Boden bei der Wasserzufuhr sich die Poren mit Wasser füllen, während in dem krümeligen die zwischen den Aggregaten befindlichen grösseren Lücken mit Luft besetzt bleiben. Bei grösseren atmosphärischen Niederschlägen kann ein in seine Elemente zerlegter Boden sich sogar in einer solchen Weise mit Wasser sättigen, dass die Luftcapacität auf Null herabsinkt.

Von ausserordentlichem Einfluss erweist sich die Structur auf die Durchlüftbarkeit (Permeabilität) des Bodens, und zwar in der Weise, dass der Boden im Krümelzustande wesentlich durchlässiger für Luft ist als bei pulverförmiger Beschaffenheit (Einzelkornstructur). Dies beweisen folgende Zahlen[1]):

(Boden, lufttrocken.)	Geförderte Luftmenge in Litern pro Stunde.				
Druck der Luft in mm Wasser:	20	40	60	80	100
		Höhe der Bodenschicht: 25 cm.			
Lehmpulver (0,0—0,25 mm)	2,04	3,38	4,72	6,06	7,40
Lehmkrümel (0,5—4,00 „)	139,2	270,1	385,6	473,3	549,8
		Höhe der Bodenschicht: 50 cm.			
Lehmpulver (0,0—0,25 mm)	2,00	3,33	4,67	6,00	7,33
Lehmkrümel (0,5—4,0 „)	69,6	139,2	208,8	263,8	324,4.

Die aus diesen Daten sich ergebenden Unterschiede in der Permeabilität treten auch dann in die Erscheinung, wenn der Boden durchfeuchtet wird, aus dem bereits angeführten Grunde. Im pulverförmigen Zustande kann die Sättigung mit Wasser, wie solche bei grösseren atmosphärischen Niederschlägen eintritt, bis zur vollen Undurchlässigkeit führen.

In gleicher Weise wie der Luft wird auch dem Wasser gegenüber durch die Krümelung eine wesentliche Aenderung in dem bezüglichen Verhalten des Bodens herbeigeführt.

Hinsichtlich der Leitung des Wassers im Boden, sowohl von unten nach oben (capillares Steigen), als auch von oben nach unten, zeigte der Lehm in einigen Versuchen des Verfassers[2]), je nachdem der Boden im pulverförmigen oder im krümeligen Zustande verwendet wurde, folgende Unterschiede:

	Das Wasser wurde capillar von unten nach oben gehoben bis zu einer Höhe (cm) nach				
	1 Tage.	5 Tagen.	10 Tagen.	20 Tagen.	29 Tagen.
Lehmpulver (0,0—0,25 mm)	25,1	62,2	72,9	88,3	100,0
Lehmkrümel (0,5—9,0 „)	22,0	42,2	51,3	61,4	67,5.

	Das Wasser wurde von oben nach unten geleitet bis zu einer Tiefe (cm) nach			
	4 Stunden.	22 Stunden.	47 Stunden.	59 Stunden.
Lehmpulver (0,0—0,25 mm)	23,4	56,1	87,2	97,6
Lehmkrümel (0,5—9,0 „)	24,1	100,8	—	—

Es ergiebt sich hieraus, dass das Wasser in dem pulverförmigen Boden schneller und höher gehoben wird als in dem krümeligen, und dass das Wasser in letzteren mit grösserer Geschwindigkeit eindringt als in

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVI. 1893. S. 212.

[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. VII. 1884. S. 285 u. 288.

jenen. Diese Unterschiede in der Leitung des Wassers bei verschiedener Structur sind hauptsächlich den Wirkungen zuzuschreiben, welche durch die grösseren Hohlräume zwischen den Aggregaten in dem krümeligen Boden hervorgerufen werden. Diese Lücken sind wegen ihrer Grösse zur capillaren Fortleitung des Wassers unfähig, weshalb sie als „nichtcapillare“ Hohlräume bezeichnet werden. Die Leitung des Wassers von unten nach oben erfolgt in einem solchen Boden nur in den Poren, welche in den Bröckchen enthalten sind. Während nun in dem pulverförmigen Boden, in welchem sämmtliche Hohlräume capillar wirken, der Aufstieg des Wassers auf dem kürzesten Wege stattfindet, geht dieser Process in dem krümeligen Erdreich nur langsam vor sich, weil das Wasser nur von Bröckchen zu Bröckchen, also mit fortwährenden Unterbrechungen und nur auf Umwegen fortgeleitet wird. Wegen der hierdurch bedingten Verzögerung in der Aufwärtsbewegung des Wassers, von welcher die Böden in um so höherem Grade getroffen werden, je grösser die nichtcapillaren Hohlräume sind, kann das Wasser nicht so hoch und so schnell wie im pulverförmigen Zustande des Erdreiches gehoben werden. Die nichtcapillaren Hohlräume verlangsamen demnach die Aufwärtsbewegung des Wassers.

Die Wirkungen der nichtcapillaren Hohlräume machen sich gleichergestalt bei dem Eindringen des Wassers in den Boden in drastischer Weise geltend. In dem krümeligen Boden sinkt das Wasser vermöge seiner eigenen Schwere in den grösseren Lücken leicht nach abwärts, in dem pulverförmigen Boden wirkt dagegen die Capillarität der Schwerkraft entgegen und hält das Wasser zurück. Man kann daher sagen, dass die nichtcapillaren Hohlräume die Abwärtsbewegung des Wassers beschleunigen.

Von den weiteren für die Bodenfeuchtigkeit maassgebenden Eigenschaften würde demnächst die Wassercapacität (oder das Wasseraufspeicherungsvermögen) des Bodens, welche in denjenigen Wassermengen zum Ausdruck gelangt, welche von der Volumeinheit des Erdreiches festgehalten werden, in Betracht zu ziehen sein. Die in dieser Richtung vom Verfasser[1]) angestellten Versuche ergaben folgende Resultate:

	Absolute Wassercapacität (Vol. %).
Lehmpulver (0,0—0.25 mm)	**42,91**
Lehmkrümel (0,5—9,0 „)	**31,93.**

Die Wassercapacität des Bodens ist mithin im krümeligen Zustande bedeutend geringer als im pulverförmigen, und zwar, weil bei der Durchfeuchtung im ersteren Fall die nichtcapillaren Hohlräume mit Luft erfüllt bleiben, während in dem anderen fast alle Poren capillare Wirkungen ausüben und in Folge dessen vom Wasser besetzt werden.

Der Einfluss der Structur auf die Verdunstung macht sich in der Weise geltend, dass der Boden bei pulverförmiger Beschaffenheit mehr Wasser an die Atmosphäre abgiebt als im krümeligen. Dies weisen folgende Zahlen aus den diesbezüglichen Beobachtungen von *C. Eser*[2]) nach:

Lehm.	Verdunstungsmengen pro 1000 qcm Fläche in gr:	
	Einzelkornstructur.	Krümelstructur.
Vom 17. Aug. bis 1. Septbr. 1883	**4033**	**3124.**

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VIII. 1885. S. 198.

[2]) *C. Eser.* Ebenda. Bd. VII. 1884. S. 66.

Die aus diesen Zahlen sich ergebenden Differenzen lassen sich in einfacher Weise aus solchen in der capillaren Leitung und in der Wassercapacität erklären. Indem der pulverförmige Boden mehr Feuchtigkeit enthält und das Wasser schneller nach oben leitet, wird der an der Oberfläche stattfindende Verdunstungsverlust in demselben leichter ersetzt als in dem krümeligen Boden, welcher mit einem geringeren Wassergehalt ausgestattet ist und in welchem die nichtcapillaren Hohlräume die Aufwärtsleitung des Wassers verzögern. Letzterer Umstand ist auch die Ursache der Erscheinung, dass bei eintretender Trockenheit die oberste Schicht des Bodens im krümeligen Zustande viel leichter abtrocknet als im pulverförmigen und dass auch aus diesem Grunde in jenem Fall geringere Mengen von Wasser durch Verdunstung verloren gehen als in diesem, weil der Einfluss der Verdunstungsfactoren durch die trockene Schicht an der Oberfläche bedeutend vermindert wird[1]).

In welcher Weise die geschilderten einzelnen Factoren der Bodenfeuchtigkeit insgesammt, d. h. unter natürlichen Verhältnissen zur Wirkung gelangen, hat Verfasser[2]) durch verschiedene Versuche nachzuweisen versucht. Während des Sommerhalbjahres betrug der durchschnittliche Wassergehalt des Bodens:

Lehm.	Einzelkornstructur.	Krümelstructur.
1882	38,80 Vol. %	23,39 Vol. %
1883	32,66 „	20,53 „
Relatives Verhältniss	**100**	**61,20.**

Demnach wurde der Wassergehalt des Bodens durch die Krümelung um mehr als $^1/_3$ vermindert.

Die Drainwasser- und Verdunstungsmengen stellten sich wie folgt:

Sommer-halbjahr.	Regenmenge. mm.	Drainwassermengen in mm. Einzelkornstructur.	Krümelstructur.	Relatives Verhältniss. Einzelkornstr.	Krümelstr.
1882	505,2	134,9	238,7	100	177,03
1883	638,1	185,6	264,3	100	142,38
			Mittel:	**100**	**159,70.**
		Verdunstungsmengen in mm.			
1882	505,2	313,9	251,0	100	79,88
1883	638,1	417,6	346,5	100	82,90
			Mittel:	**100**	**81,39.**

Nach diesen Daten hatte die Krümelung des Bodens eine Vermehrung der Sickerwassermenge um über die Hälfte, und eine Verminderung der Verdunstung um ca. $^1/_5$ zur Folge.

In dem Gange der Bodenfeuchtigkeit tritt die bemerkenswerthe Thatsache in die Erscheinung, dass die Schwankungen des Wassergehaltes bei dem in seine Einzelkörner zerlegten Boden grösser sind als im Krümelzustand. Die Ursache hiervon beruht darauf, dass in jenem Fall der Boden wegen langsamer Abwärtsführung des Wassers sich bei grösseren atmosphärischen Niederschlägen in höherem Grade sättigt und wegen besserer capillarer Leitung nach oben bei trockener Witterung mehr Wasser verdunstet als in diesem Fall, wo die Durchlässigkeit des Bodens eine ver-

[1]) *C. Eser.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VII. 1884. S. 43.
[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. XVI. 1893. S. 395.

gleichsweise grössere, der capillare Aufstieg des Wassers gegen die Oberfläche aber verlangsamt ist. Die Krümelung des Bodens hat aus diesem Grunde die Bedeutung, dass durch dieselbe sowohl einem schädlichen Uebermaass an Wasser in nassen Perioden als auch einem Wassermangel in Trockenperioden vorgebeugt wird.

In Rücksicht auf die Zersetzung der organischen Stoffe kämen schliesslich noch die Temperaturverhältnisse des Bodens bei verschiedener Structur in Betracht. Die einschlägigen Versuche des Verfassers[1]) haben den Nachweis geliefert, dass sich der krümelige Boden bei steigender Temperatur stärker erwärmt, bei sinkender in höherem Grade abkühlt als der pulverförmige und daher grössere Temperaturschwankungen aufweist als dieser. Im Durchschnitt ist der krümelige Boden wärmer als der pulverförmige, wie aus folgenden Daten erhellt:

Lehm.	Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (°C.)	
	Einzelkornstructur.	Krümelstructur.
Vom 30. Aug.—6. Septbr. 1879	18,91	19,72
Differenz:	0,81	
Schwankungen der Temperatur	9,22	10,19
Vom 5.—8. Juli 1881	21,45	22,45
Differenz:	1,0	
Schwankungen der Temperatur	8,80	9,13.

Die in diesen Zahlen liegenden und bereits näher präcisirten Unterschiede lassen sich dadurch erklären, dass in dem krümeligen Boden die Wärmecapacität kleiner, die Wärmeleitungsfähigkeit grösser und der durch Verdunstung hervorgerufene Wärmeverlust geringer ist als im pulverförmigen Zustande.

Unter Berücksichtigung der im Bisherigen geschilderten Unterschiede in dem Verhalten des krümeligen und pulverförmigen Bodens zur Luft, zur Wärme und zum Wasser gelangt man zu der Ueberzeugung, dass der Verlauf der Zersetzungsprocesse nur in ersterem Fall ein den zu stellenden Anforderungen entsprechender, im letzteren dagegen ein anomaler ist. Bei pulverförmiger Beschaffenheit des Bodens ist die Luftzufuhr nicht allein eine beschränkte, sondern dieselbe ist bei feuchter Witterung durch Sättigung des Erdreiches mit Wasser vollständig aufgehoben, in Folge dessen der Zerfall der organischen Stoffe ganz und gar als Fäulniss sich documentirt. In dem krümeligen Boden dagegen finden in Folge des ungehinderten Luftzutrittes und der relativ gleichmässigen Durchfeuchtung des Erdreiches bei wechselnden Witterungszuständen kräftige Oxydationsprocesse statt, die organischen Stoffe unterliegen hier der Verwesung. Da diese aber, wie oben nachgewiesen, behufs Nutzbarmachung der in den Pflanzenresten enthaltenen Nährstoffe anzustreben ist, so wird nach alledem gefolgert werden müssen, dass bei der Lockerung aller für Luft schwer zugänglichen und sich leicht mit Wasser sättigenden Bodenarten die Herstellung der ***Krümelstructur*** an erster Stelle in das Auge zu fassen, der Uebergang des Bodens in einen pulverförmigen Zustand aber auf das Sorgfältigste zu vermeiden ist.

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. V. 1882. S. 191.

In Rücksicht auf die Schwierigkeiten der Herbeiführung der normalen Structur des Ackerlandes unter den bezeichneten Verhältnissen mögen hier in Kürze die Regeln gekennzeichnet werden, deren stricte Befolgung bei Anwendung des Pfluges allein zum Ziele führt.

An erster Stelle muss hervorgehoben werden, dass es nicht allein im hohen Grade vortheilhaft, sondern geradezu unbedingt geboten erscheint, das Ackerland sofort nach Aberntung der Frucht mit dem Pfluge zu bearbeiten. Die Nothwendigkeit dieser Maassregel ist aus dem Umstande herzuleiten, dass der Lockerheitsgrad, welchen das Erdreich je nach der Entwickelung der Pflanzen nach der Aberntung besitzt, weiterhin unter dem Einfluss der atmosphärischen Niederschläge mehr oder weniger schnell verloren geht, sobald die schützende Pflanzendecke entfernt worden ist (S. 293). Der Boden lagert sich immer dichter zusammen, weshalb nicht allein die Schwierigkeit der Bearbeitung, sondern auch jene der Herstellung eines krümeligen Zustandes des Bodens wächst, in dem Grade, als die Pflugarbeit nach der Räumung der Felder verzögert wird.

Weiters ist behufs Erreichung des angeführten Zweckes die Regel zu befolgen, die erste Pflugarbeit nur bei einem bestimmten Feuchtigkeitsgrad vorzunehmen, wenn nicht gerade das Liegenlassen des Ackerlandes in rauher Furche während des Winters beabsichtigt ist. Aus den Untersuchungen von *H. Puchner*[1]) geht nämlich zur Evidenz hervor, dass jeder Boden, selbst der bindigste, nur bei einem gewissen mittleren Feuchtigkeitsgrad (ca. 40% der vollen Wassercapacität) in eine krümelige Masse verwandelt werden kann. Man muss die Böden pflügen, wie man sagt, wenn sie „gerade recht" sind, oder gar nicht, wenn man nicht deren mechanische Beschaffenheit auf mehrere Jahre schädigen will; denn sind sie nasser oder trockener, so krümeln sie nicht und die Erde klebt in ersterem Falle wie Fensterkitt an dem Streichbrett des Pfluges und die Oberfläche des Erdstreifens wird verschmiert, während in letzterem Fall nur harte Schollen aufgeworfen werden, die zwar durch Anwendung von Schollenbrechern, Ringel- und Stachelwalzen sich in ein Haufwerk von festen Brocken, aber niemals hierdurch in eine normal beschaffene Ackerkrume verwandeln lassen. Aus diesen Gründen ist jede Uebereilung, aber auch jede Verzögerung der Pflugarbeit mit den grössten Nachtheilen verknüpft und die Beobachtung eines bestimmten Zeittermines für das Gelingen der Bestellungsarbeiten von grösster Wichtigkeit. Den angemessensten Grad der Feuchtigkeit, bei welchem der Boden sich am leichtesten bearbeiten lässt, kann man nach obiger Angabe leicht ermitteln, und jeder Landwirth sollte diese Verhältnisse jedes seiner Felder genau kennen. Wo eine derartige Untersuchung nicht beliebt ist, muss man sich mit anderen, weniger sicheren Mitteln behelfen. Wenn der Boden bei dem Umgraben mit dem Spaten krümelt, an den Werkzeugen nicht klebt oder die gewendete Erde oberflächlich nicht glänzend erscheint, zahlreiche Risse und Sprünge zeigt, oder eine herausgenommene Erdprobe beim Kneten in der Hand nicht mehr klebt, sondern zerbröckelt, so ist im Allgemeinen der Boden so weit abgetrocknet, dass die Bestellungsarbeiten ohne Nachtheile beginnen können.

[1]) *H. Puchner.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XII. 1889. S. 239.

Bei der Bearbeitung selbst wird man ausser auf den normalen Feuchtigkeitsgrad weiters sorgfältig darauf zu achten haben, dass die Furchen, namentlich bei der ersten Pflugarbeit, möglichst schmal (10—12 cm breit) gegriffen werden. Nur in diesem Falle gelingt es, mittelst des Pfluges, soweit dies mit diesem Instrument überhaupt möglich ist, eine den Anforderungen entsprechende Anfhebung im mechanischen Zusammenhange des Erdreiches herbeizuführen. Weiterhin wird man sich zweckmässig statt des Pfluges, welcher zur Lockerung des Erdreiches an sich weniger geeignet ist, der Krümmer, Grubber oder Exstirpatoren behufs Krümelung nnd Mischung des Erdreiches bedienen.

Auffrierenlassen, also Liegenlassen des Bodens in rauher Furche den Winter hindurch, ist schliesslich ein Mittel, um dem Boden den normalen Grad von Lockerheit zu geben, weil hierbei die Bodentheile in gründlichster Weise durch das beim Erstarren zu Eis sich ausdehnende Wasser getrennt werden. Im Frühjahr erscheinen dann Thon- und Lehmböden in einem vorzüglichen Culturzustande, in einem solchen, wie er mit dem Pfluge oder dem Grubber selbst bei sorgfältigster Anwendung dieser Instrumente kaum erreicht werden kann. In der Frostwirknng besitzen wir daher das einfachste Mittel, die strengen Böden zu krümeln, und jeder Praktiker sollte also danach trachten, die für den Sommerbau bestimmten Felder bereits im Herbste aufzupflügen. Dies kann in diesem Fall auch im nassen Zustande des Bodens geschehen, denn der Wasserüberschnss wird in Folge der mechanischen Veränderungen des Bodens unter dem Einfluss des Gefrierens und Aufthauens weiterhin beseitigt. Die weitere Behandlung des Ackerlandes im Frühjahr erfordert die Beobachtnng einiger Vorsichtsmaassregeln, wenn der Boden die angenommene Structur bewahren soll. Man muss nämlich den aufgethauten, durch den Frost zerkleinerten Boden auch in diesem Fall den richtigen Feuchtigkeitsgrad erreichen lassen, ehe man ihn pflügt, und ihn dann weiterhin möglichst wenig bearbeiten, weil er sonst leicht wegen der lockeren Beschaffenheit der Krümel in eine pulverförmige Masse zerfallen könnte. In der Mehrzahl der Fälle genügt eine einmalige Bearbeitung im Frühjahr, die am besten mit dem Grubber vorgenommen wird.

Während auf den schweren Böden die geschilderten Maassregeln zu dem Zweck in Anwendung zu kommen haben, den Zutritt der Luft znm Boden zu befördern nnd der Ansammlung grösserer Wassermengen vorzubeugen, sind dieselben auf den leichten, zur Krümelbildung wenig geneigten Böden aus den oben angeführten Gründen zn unterlassen. Unter letzteren Verhältnissen wird es vielmehr angezeigt sein, solche Mittel in das Auge zn fassen, welche innerhalb gewisser Grenzen eine Verminderung der Luftznfuhr einerseits und Erhaltung des an sich geringen Wasservorrathes andererseits bezwecken. Ausser durch die unten angeführten Operationen kann dies in der Weise geschehen, dass das in der Praxis übliche öftere Pflügen des Bodens und das Liegenlassen desselben in rauher Furche, wodurch die Austrocknung beschleunigt und die Luftcapacität in einem übermässigen Grade erhöht wird, vermieden werden. Das häufige Bearbeiten der in Rede stehenden Böden ist durchaus nutzlos, weil dieselben den für eine normale Zersetzung der organischen Stoffe erforderlichen Grad der Lockerheit von Haus aus besitzen und ein einmaliges Wenden mittelst des Pfluges vollkommen ausreichend ist. Nicht selten wird man

sogar das Pflügen umgehen können und mittelst des Grubbers die gewünschte Structur hervorzubringen vermögen.

Ausser der durch Pflug und Grubber bewirkten Wendung und Lockerung des Bodens käme weiterhin der Einfluss in Betracht, den das ***Eggen, Behacken und Schälen*** des Ackerlandes auf die für den Zerfall der organischen Stoffe wichtigen Factoren auszuüben vermag. Die in dieser Richtung vom Verfasser[1]) angestellten Untersuchungen führten zu dem Ergebniss, dass die oberflächliche Lockerung die Wasserverdunstung aus der Ackererde herabdrückt und in Folge davon deren Feuchtigkeitsgehalt erhöht. Durch fragliche Procedur wird in den zu Tage tretenden Bodenpartien die Verdunstung zunächst beschleunigt und hierdurch auf der Oberfläche die Bildung einer abgetrockneten Schicht veranlasst, welche an sich die Wirkung der Verdunstungsfactoren und überdies die Wasserabgabe aus dem Boden deshalb vermindert, als die grösseren nichtcapillaren Hohlräume andererseits die capillare Leitung des Wassers an die Oberfläche sehr bedeutend verlangsamen.

War der Boden vorher mit Pflanzen bestanden, so wird durch Auflockerung der obersten Schicht, wie dies beispielsweise bei dem Schälen von Gras-, Klee- und Luzernefeldern oder dem Behacken der mit Unkräutern versehenen, in Reihen cultivirten Feldfrüchte geschieht, die geschilderte Wirkung dieser Operation in besonders auffälliger Weise hervortreten, weil bei der Bearbeitung gleichzeitig die Pflanzendecke, welche eine stärkere Austrocknung des Erdreiches verursacht (S. 168), vernichtet und aus den abgestorbenen Pflanzentheilen eine Decke auf dem Boden gebildet wird, welche für sich die Verdunstung nicht unwesentlich einschränkt.

Das Eggen kommt auch zum Zweck der Ebnung und Zerkleinerung der Bodenpartien vortheilhaft dann in Anwendung und muss sofort vorgenommen werden, wenn auf dem gepflügten Lande bei eintretender Trockenheit eine nachtheilige Austrocknung (leichte Böden) oder eine Verhärtung des Bodens (bindige Böden) zu befürchten ist. Im ersteren Fall wird die verdunstende Oberfläche verkleinert, im letzteren eine mechanische Zerstörung der betreffenden Bodenpartien herbeigeführt, d. h. eine Krümelung derselben, die wiederum nur dann erzielt wird, wenn die Eggearbeit bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrad des Erdreiches vorgenommen wird.

Die für die Zersetzung der organischen Stoffe durch das ***Walzen*** hervorgerufenen Veränderungen bestehen zunächst darin, dass die Luftcapacität und die Permeabilität des Bodens für Luft entsprechend dem ausgeübten Druck herabgesetzt werden[2]). Hinsichtlich der Beeinflussung der Bodenwärme lassen die einschlägigen Versuche des Verfassers[3]) erkennen, dass das gewalzte Land während der wärmeren Jahreszeit durchschnittlich wärmer ist als das lockere, weil durch das Walzen die zwischen den Bodentheilchen befindliche, als schechter Wärmeleiter wirkende Luft in ihrer Menge vermindert und dadurch die Wärmeleitungsfähigkeit der Masse vergrössert wird. In den Feuchtigkeitsverhältnissen macht sich zunächst der Unterschied geltend, dass der gewalzte Boden mehr Wasser verdunstet als der lockere[4]). Diese Erscheinung beruht

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. III. 1880. S. 325.
[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. VIII. 1885. S. 369. — Bd. XVI. 1893. S. 215.
[3]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. V. 1882. S. 1.
[4]) *C. Eser.* Ebenda. Bd. VII. 1884. S. 68.

darauf, dass die Bodenkrümel durch das Zusammenpressen näher aneinanderrücken, wodurch ein Theil der die Hebung des Wassers von unten nach oben hemmenden nichtcapillaren Hohlräume in capillare übergeführt und somit die Aufwärtsbewegung des Wassers beschleunigt wird[1]).

Aus der Thatsache, dass die Verdunstung aus dem Boden durch das Walzen vermehrt wird, hat man vielfach die Schlussfolgerung abgeleitet, dass fragliches Verfahren unter allen Umständen den Wassergehalt der Ackererde herabsetzt. Dies ist indessen nur dann der Fall, wenn nach dem Walzen keine atmosphärischen Niederschläge dem Boden zugeführt werden. Wenn dagegen nach dem Walzen ergiebige Niederschläge eintreten, so ist der gewalzte Boden feuchter als der lockere. In den gelockerten Boden dringt nämlich das Regenwasser nicht allein leicht ein, sondern wird auch in den nichtcapillaren Hohlräumen schnell nach abwärts geführt, während es in dem gewalzten Lande nur langsam in die Tiefe sinkt und sich längere Zeit in der Ackerkrume aufhält. Demnach wird durch das Walzen die Wassercapacität des Bodens erhöht[2]) und die Durchlässigkeit desselben für Wasser vermindert[3]). Der hierdurch hervorgerufene Unterschied in dem Wassergehalt zwischen dem gewalzten und nicht gewalzten Boden bleibt bestehen, wenn nach dem Regen Trockenheit eintritt, weil die stärkere Verdunstung des ersteren im Vergleich zu der des letzteren in den meisten Fällen nicht ausreichend ist, eine Ausgleichung des Wassergehaltes herbeizuführen[4]). Eine solche, eventuell eine Umkehr in den Wassermengen tritt nur in extremen Trockenperioden in die Erscheinung; der frühere Unterschied wird jedoch sofort wieder hergestellt, sobald eine ergiebigere Zufuhr von Wasser aus der Atmosphäre stattfindet.

Unter Berücksichtigung der zuletzt geschilderten Gesetzmässigkeiten, sowie der Anforderungen, welche an die Behandlung der Culturböden von verschiedener physikalischer Beschaffenheit in Bezug auf die organischen Processe zu stellen sind, wird es sofort klar, dass das Walzen auf allen leichten Bodenarten von geringer Wassercapacität und grosser Durchlässigkeit für Luft und Wasser zweckmässig in Anwendung kommt, dass dagegen diese Culturoperation für die Zersetzung der organischen Stoffe auf allen bindigen Bodenarten, wenn sich diese nicht gerade in einem übermässigen Lockerkeitszustande befinden, von nachtheiliger Wirkung ist, weil durch dieselbe die Luftcapacität vermindert und der Ansammlung grösserer Wassermengen Vorschub geleistet wird.

Im Uebrigen hat das Walzen auf solchen Ackerländereien, welche mit Stalldünger und Gründüngungspflanzen gedüngt worden sind und welche gleichzeitig eine sehr lockere Beschaffenheit besitzen, die Wirkung, dass die Verwesung jener Materialien gleichmässiger von statten geht und auch der Verflüchtigung und Auswaschung von Pflanzennährstoffen vorgebeugt wird. Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass durch fragliche Procedur die vom Boden eingeschlossene Luftmenge vermindert und die demselben einverleibten Substanzen mit dem Erdreich in

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VII. 1884. S. 291.

[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. VIII. 1885. S. 199.

[3]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. V. 1882. S. 31.

[4]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. V. 1882. S. 17.

eine bessere Berührung kommen. Dadurch gestaltet sich der Zersetzungsprocess der organischen Stoffe nicht nur gleichmässiger, sondern er verläuft auch langsamer als im lockeren Erdreich. Hieran wird dadurch nichts Wesentliches geändert, dass der gewalzte Boden wärmer ist als der nicht gewalzte, und zwar weil der Einfluss der Luftcapacität stärker ist als derjenige der höheren Temperatur. In Folge der innigeren Berührung der verwesenden Substanzen mit dem Boden werden die entstehenden löslichen und flüchtigen Pflanzennährstoffe in dem gewalzten Lande vom Erdreich besser aufgenommen und eine Auswaschung der gebildeten Nitrate in höherem Grade hintangehalten als in dem lockeren Boden, in welchem die Gefahr sowohl einer Verflüchtigung eines Theiles des bei der Verwesung entbundenen Ammoniaks als auch einer Entführung der salpetersauren Salze in die Tiefe (wegen grösserer Durchlässigkeit des Bodens für Luft und Wasser) vorliegt.

In der *Tiefcultur* ist ein Mittel gegeben, in durchgreifendster Weise die Zersetzungsprocesse der organischen Stoffe nicht allein in den tieferen, sondern auch in den oberen Schichten des Ackerlandes günstig zu beeinflussen. Durch diese Operation werden die tieferen Schichten, in welchen sonst in Folge des Luftabschlusses Fäulnissprocesse stattfinden und sich dem Pflanzenwachsthum schädliche Stoffe bilden, der Luft zugänglich gemacht und dadurch in denselben kräftige Oxydationserscheinungen hervorgerufen, in Folge dessen nicht allein die vorhandenen organischen Stoffe der Verwesung unterliegen, sondern auch alle den Pflanzen nachtheiligen Desoxydationsproducte beseitigt werden. Von ungemein günstiger Wirkung auf diese Vorgänge erweist sich weiters die durch die Tiefcultur hervorgerufene gleichmässigere Vertheilung der Bodenfeuchtigkeit. Die atmosphärischen Niederschläge können bei tieferer Bearbeitung weit besser den Boden befeuchten als bei flacherer, bei welcher sie sich, besonders auf den bindigen Bodenarten, leicht auf den nicht bearbeiteten Schichten ansammeln und zur Ansammlung übermässiger Feuchtigkeitsmengen Veranlassung geben. Dazu kommt, dass der tiefer bearbeitete Boden während der Trockenheit sich feuchter erhält als der flach bearbeitete, weil bei jenem die feuchtesten Schichten tiefer liegen, der Verdunstungsverlust an der Oberfläche schwieriger ersetzt wird und letztere schneller abtrocknet als bei diesem[1]). Aus diesem Grunde bewahrt der tiefer bearbeitete Boden in Perioden stärkerer Verdunstung mehr Feuchtigkeit und sättigt sich bei grösseren Niederschlägen nicht in dem Grade mit Wasser, besitzt also einen gleichmässigeren Feuchtigkeitsgehalt als der flacher bearbeitete. Diese Wirkungen, im Verein mit jenen auf die Durchlüftung, welche einen beschleunigten Verlauf der Zersetzung der organischen Substanzen und damit gleichzeitig eine Vermehrung der Menge assimilirbarer Nährstoffe bedingen, sprechen wesentlich zu Gunsten der Tiefcultur, besonders auf den schwer durchlässigen Bodenarten.

Von den übrigen bei der mechanischen Bearbeitung des Bodens in Anwendung kommenden Verfahren verdient die *Behäufelung* noch eine besondere Beachtung. Indem die Erde in den Dämmen in stärkerem Grade der Luft zugänglich ist, während der wärmeren Jahreszeit eine höhere Temperatur annimmt und einen niedrigeren Wassergehalt besitzt als das eben bearbeitete Land[2]), nehmen die Zersetzungsprocesse im

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVI. 1893. S. 8.
[2]) *E. Wollny.* Ebenda. Bd. III. 1880. S. 117.

ersteren Fall in allen bindigen, zu grösseren Wasseransammlungen neigenden Böden einen intensiveren Verlauf als in letzterem, weshalb sich gerade diese Operation auf allen derartigen Ackerländereien von unbestreitbarem Vortheil für die in denselben vor sich gehenden Processe erweist, und daher hier der ausgedehntesten Anwendung werth erscheint. Eine schädliche Austrocknung der Ackererde steht hier nicht zu befürchten, weil der Boden wegen hoher Wassercapacität von den der Trockenperiode vorausgehenden Niederschlägen her Feuchtigkeit meist in genügenden Mengen enthält und sich solche durch capillare Leitung aus den tieferen Schichten des Bodens leicht verschaffen kann. Auf allen leicht austrocknenden Ländern wird dagegen die Behäufelung schädlich wirken, weil das ohnehin trockene, für Luft leicht zugängliche Erdreich noch mehr Feuchtigkeit verliert bezw. in stärkerem Grade durchlüftet wird, weshalb bei trockener Witterung die organischen Processe zu langsam, bei feuchter Witterung zu rapid verlaufen.

Es erübrigt schliesslich in dieser Darlegung der Beziehungen der verschiedenen bei der Bodenbearbeitung in der Praxis angewendeten Verfahren zu der Thätigkeit der niederen Organismen in der Ackererde, die bezüglichen Wirkungen bei den verschiedenen *Ackerbestellungsmethoden* in Kürze zu kennzeichnen. Bei der Bearbeitung in Beeten ist, wie schon früher (S. 147) mitgetheilt wurde, die Vertheilung der Wärme eine sehr ungleichmässige; die Nordseiten sind kälter als die Südseiten, während Ost- und Westabdachungen eine mittlere Temperatur besitzen. In gleicher Weise treten Unterschiede in den Feuchtigkeitsmengen (S. 147) hervor, indem die geringsten Wassermengen in dem Boden der südlichen, die grössten in jenem der nördlichen Exposition auftreten, und die Ost- und die Westseite, von welchen die erstere wiederum die trockenere ist, zwischen jenen beiden Extremen stehen. Folge dieser verschiedenen Vertheilung zweier der für den Zerfall der organischen Stoffe wichtigsten Factoren ist, dass die organischen Processe in der Ackererde auf den verschieden exponirten Flächen einen verschiedenen Verlauf nehmen und dementsprechend die Fruchtbarkeit des Bodens beeinflussen. Bei ausreichenden Niederschlägen gehen die Zersetzungsvorgänge auf der Südseite am schnellsten, auf der Nordseite am langsamsten vor sich, während der Boden in den übrigen Lagen eine Thätigkeit von mittlerer Intensität entwickelt. Ist die Witterung anhaltend trocken, so ändern sich zum Theil diese Verhältnisse, insofern dem südlich exponirten Boden die Feuchtigkeit zu einem stärkeren Zerfall, trotz höherer Temperatur, mangelt und nunmehr in dem Erdreich der Nordseite, obwohl die Wärme hier eine geringere Wirkung ausübt, die Zersetzungsvorgänge wegen höheren Feuchtigkeitsgehaltes ihren ungehinderten Verlauf nehmen. Aehnliche Unterschiede machen sich zwischen den Ost- und Westabdachungen bemerkbar, indem letztere in höherem Grade die Bedingungen zu einem stärkeren Zerfall der organischen Stoffe bieten als erstere. In dem eben bearbeiteten Lande sind im Vergleich zu den verschieden geneigten Flächen der Beete die Wärme und das Wasser durchaus gleichmässig vertheilt, die Zersetzung der organischen Stoffe findet daher in allen Theilen desselben in der gleichen Weise statt und die hierbei in den assimilirbaren Zustand übergehenden Pflanzennährstoffe treten überall in den gleichen Mengen auf. Schon aus diesen Gründen bietet die Ebencultur grössere Vortheile als die Beetcultur.

2. Die Brache.

Die Wirkungen der Brache auf die chemischen Vorgänge im Boden lassen sich leicht ermessen, wenn man berücksichtigt, dass das nackte Erdreich während der Vegetationszeit wesentlich feuchter und gleichzeitig beträchtlich wärmer als das mit Pflanzen bestandene ist (S. 161), und wenn man hiermit die Thatsache zusammenhält, dass die Intensität der Zersetzung der organischen Substanzen mit der Temperatur und Feuchtigkeit zu- und abnimmt. Die feuchtere Beschaffenheit und stärkere Erwärmung, sowie der erhöhte Luftzutritt, im Falle das Land gleichzeitig gelockert wird, muss demnach dem Zerfall der im vegetationslosen Boden enthaltenen oder demselben künstlich zugeführten organischen Stoffe (Humusstoffe, Ernterückstände, Stalldünger, Gründüngungspflanzen u. s. w.) Vorschub leisten. In der That ist dies der Fall, wie aus dem Umstande ersehen werden kann, dass die Luft in dem Brachland einen bedeutend höheren Kohlensäuregehalt besitzt als das mit Pflanzen bedeckte Ackerland unter sonst gleichen Verhältnissen (S. 175). Der ausserordentlich hohe Gehalt der Luft des Brachlandes an Kohlensäure, im Vergleich zum bewachsenen Boden, ist der sicherste Beweis für die Richtigkeit obiger Voraussetzung, denn die Kohlensäure ist eines der Endproducte der Verwesung organischer Stoffe und ihre Menge kann daher, wenn alle übrigen Verhältnisse gleich sind, als Maassstab für die Intensität der betreffenden Processe dienen.

Wenn sonach kein Zweifel darüber bestehen kann, dass durch die Brachehaltung in Folge der durch dieselbe bewirkten stärkeren Durchfeuchtung und Erwärmung des Erdreiches der Zersetzungsprocess aller organischen Stoffe in beträchtlichem Grade beschleunigt wird, so wird weiters hieraus gefolgert werden müssen, dass der Boden in demselben Maasse direct und indirect eine Bereicherung an assimilirbaren Nährstoffen erfahren muss. Die Zufuhr an letzteren ist insofern eine directe, als bei dem Zerfall der Pflanzenreste in der Ackererde Ammoniak und lösliche Mineralstoffe gebildet werden, und sie erfolgt auf indirectem Wege dadurch, dass die gleichzeitig in grösseren Mengen gebildete Kohlensäure auf mineralische ungelöste Bodenbestandtheile lösend einwirkt und dadurch einen Theil der letzteren in den assimilirbaren Zustand überführt (S. 282).

Da weiters die Bedingungen zu einer kräftigen Oxydation des bei dem Zerfall der organischen Stoffe entstandenen Ammoniaks gegeben sind (Feuchtigkeit und höhere Temperatur), so findet in dem Brachlande gleichzeitig mit den vorstehend geschilderten Processen eine ergiebige Salpeterbildung statt, wie *R. Warington* nachgewiesen hat (S. 176).

Alle Einwirkungen zusammengefasst, werden durch die Brache mineralische Nährstoffe und Nitrate, sowie Wasser, in grösseren Mengen verfügbar, und da diese nicht von einer Vegetation in Anspruch genommen werden, sammeln sie sich an und dienen zur Erhöhung der Fruchtbarkeit des Bodens. Dies ist jedoch nicht ausnahmslos der Fall, denn unter verschiedenen Umständen kann durch das in Rede stehende Verfahren dem Boden auch ein mehr oder weniger grosser Verlust an Nährstoffen zugefügt werden.

Um letzteres zu verstehen, hat man vor Allem die Thatsache, dass durch die Brachehaltung, an Stelle des Pflanzenbaues, die Sickerwassermengen in ausserordentlichem Grade vermehrt werden, in das Auge zu fassen (S. 168 u. 331). Bei unrichtiger Bemessung der Brachezeit wird deshalb dem Erdreich leicht ein Verlust an Pflanzennährstoffen und besonders an den von demselben nicht absorbirten

salpetersauren Salzen erwachsen können (S. 328) und zwar in um so grösserem Umfange, je länger der Boden im vegetationslosen Zustande verbleibt, je geringer sein Absorptionsvermögen für Pflanzennährstoffe, je grösser seine Permeabilität für Wasser ist und je ergiebiger die Niederschläge sind. Daher sind bei Beurtheilung der Frage bezüglich der Anwendbarkeit der Brache vom naturwissenschaftlichen Standpunkt sowohl die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Ackererde, die klimatischen Verhältnisse, die Dauer der Brachezeit, als auch die jeweiligen Bodenzustände an der betreffenden Oertlichkeit vornehmlich in Betracht zu ziehen.

In allen Fällen geht bei länger andauernder, d. h. auf einen Zeitraum von einem Jahr sich erstreckender Brache (volle oder schwarze Brache) ein mehr oder weniger grosser Theil der während derselben gebildeten löslichen Nährstoffe, hauptsächlich der Nitrate verloren, weil der Boden, selbst dann, wenn er vorher trocken war, nach einiger Zeit vollständig durchfeuchtet wird, und die späterhin hinzutretenden Niederschläge eine Absickerung des Bodenwassers veranlassen, die um so ergiebiger ist, je grösser die atmosphärische Zufuhr und die Permeabilität des Bodens sind.

Bei kürzerer Brachehaltung, wie solche in jeder Wirthschaft in der Zeit von der Aberntung der einen Frucht bis zum Anbau der folgenden sich nothwendigerweise ergiebt, ist die Wirkung derselben auf die Fruchtbarkeitsverhältnisse von dem Zustand des Bodens nach der Ernte und auch unter diesen Umständen von der Dauer der vegetationslosen Zeit abhängig.

Folgt die Brache nach Früchten, welche den Boden bis in grössere Tiefen stark austrockneten, so wird in der Regel keine Auswaschung von Nitraten zu befürchten sein, falls der Anbau der folgenden Frucht bereits im Herbst erfolgt, weil die atmosphärischen Niederschläge fast ausschliesslich zur Wiederanfeuchtung des Erdreiches dienen und Sickerwasser demgemäss nicht gebildet werden. Unter solchen Verhältnissen übt im Gegentheil die Brache durch Ansammlung von Wasser und Nährstoffen einen sehr günstigen Einfluss auf die Fruchtbarkeit des Ackerlandes aus und erscheint in manchen Fällen sogar geboten, wie z. B. dort, wo Wintergetreide (Weizen) nach Klee angebaut wird. Ersteres wird meistentheils ein schlechtes Gedeihen zeigen, wenn man den Klee erst im Herbst umbrechen und bald darauf zur Herbstsaat schreiten wollte, weil der Boden unter dem stark transpirirenden Futtergewächs nur wenig Wasser enthalten und die Zersetzung der von demselben zurückgelassenen Wurzelrückstände wenig vorgeschritten sein würde. Vielmehr wird es in dem angezogenen Fall vortheilhaft sein, den Klee nach dem ersten Schnitt umzubrechen (Johannisbrache) und den Boden bis zum Anbau des Weizens als Brache zu behandeln, denn während derselben sammeln sich nunmehr in dem Boden grössere Feuchtigkeitsmengen an und gleichzeitig auch Nährstoffe in löslicher Form, die sich in Folge der geförderten Zersetzung aus den Ernterückständen des Klees bilden. Wie die Erfahrung hinlänglich lehrt, wird bei einem derartigen Verfahren das Wachsthum des Weizens in der günstigsten Weise beeinflusst.

Sobald der Boden hingegen bei Eintritt der Brachezeit bereits grössere Feuchtigkeitsmengen einschliesst oder den Winter über bis zum Frühjahr im vegetationslosen Zustand verharren muss (Sommerbau), wird ein grösserer oder geringerer Verlust nicht zu vermeiden sein, besonders dann, wenn die Witterung sehr feucht und der Boden sehr durchlässig ist. Böden von letzterer Beschaffenheit pflegen auch ein geringes Absorptionsvermögen für Pflanzennährstoffe zu besitzen (Sand-

böden), so dass die Auswaschungen sich nicht nur auf die Nitrate, sondern auch auf mineralische Bestandtheile erstrecken können. Auf bindigen und humusreichen Böden führt die Brache, wenn sie im feuchten Zustande des Erdreiches angewendet wird, zwar keine Verluste in solchem Umfange, wie auf den leichten Böden, mit sich, weil dieselben mit einem ungleich stärkeren Absorptionsvermögen für Nährstoffe und einer geringen Permeabilität ausgestattet sind, gleichwohl dürfen die geschilderten Schädigungen an dem Nährstoffvorrath, besonders an Nitraten auch auf diesen Böden und vornehmlich dann, wenn sie den Winter über vegetationslos bleiben, nicht ausser Acht gelassen werden, weil, wie *Lawes* und *Gilbert* nachgewiesen haben (S. 328), die Stickstoffverluste auch auf bindigen Böden noch beträchtlich sein können. Dabei sind indessen verschiedene Umstände zu berücksichtigen. Die Nitrate, welche sich während des Sommers gebildet haben, bleiben dem Boden zum grössten Theil bis zum Winter erhalten, insofern die Salpeterbildung fast ausschliesslich in den obersten Schichten stattfindet und die Wanderung der Nitrate in die Tiefe einen längeren Zeitraum in Anspruch nimmt. Dasselbe ist auch der Fall, wenn ein trockener Winter folgt. Die nächste Frucht findet alsdann einen Salpetervorrath im Boden vor, der einer starken Stickstoffdüngung gleich zu erachten ist. Folgt jedoch auf den Sommer resp. Herbst, während welchem der Boden brach gelegen ist, ein nasser Winter, dann geht ein grosser Theil der Nitrate mit dem Sickerwasser verloren und der nachfolgenden Frucht ist durch die Brachehaltung wenig genutzt.

Behufs Verhinderung oder Herabsetzung der unter den im Vorstehenden näher bezeichneten Verhältnissen eintretenden Verluste, vornehmlich an Nitraten, erscheint es geboten, die Brache mit Gewächsen zu bestellen, welche im Herbst grün untergepflügt werden. Die Wirkung dieser Operation beruht einerseits darauf, dass die im Boden vorhandenen Nitrate in organische Verbindungen und diese während des Winters ganz allmählich wieder in assimilirbare Formen übergeführt werden, andererseits darauf, dass während des Wachsthums der Brachpflanzen (Zwischen- oder Stoppelsaaten) die Salpeterbildung im Boden durch Beschränkung der Durchfeuchtung und Erwärmung vermindert wird.

Bei voller Brache, sowie in dem Falle, wo die Früchte zeitig geerntet werden, empfiehlt sich der Anbau schmetterlingsblüthiger Gewächse (Wicken, Lupinen, Serradella u. s. w.), durch welche gleichzeitig eine Bereicherung des Bodens an organischer Substanz und stickstoffhaltigen Bestandtheilen erreicht wird; bei kürzeren Brachzeiten wählt man eine möglichst schnell wachsende Pflanze, wie z. B. weissen Senf oder Spörgel. Unter den verschiedenen in Betracht kommenden Gewächsen dürfte sich der weisse Senf (Sinapis alba) wegen seiner Schnellwüchsigkeit am besten für den vorliegenden Zweck eignen.

Die empfohlene Maassregel wird sich dann als nothwendig herausstellen, wenn die Dauer der Brache sich über ein ganzes Jahr oder vom Sommer über den folgenden Winter ausdehnt, sowie dort, wo der Boden bei Beginn der Brachezeit vollständig durchfeuchtet ist, eine grössere Durchlässigkeit besitzt und ein feuchtes Klima herrscht. Wo jedoch der Boden durch die vorangegangene Frucht stark ausgetrocknet war und die Brachezeit nur bis zum Herbst währt, erscheint das empfohlene Verfahren nicht nur überflüssig, sondern auch schädlich, weil in diesem Falle der Hauptzweck der Brachehaltung, die Ansammlung von Feuchtigkeit in dem Ackerlande, nicht erreicht werden würde.

3. Die Entwässerung des Bodens.

In den nassen Ländereien unterliegen die organischen Substanzen in Folge des Luftabschlusses der Fäulniss, welche eine Ansammlung sauerer Humuskörper, sowie die Bildung von Desoxydationsproducten bedingt. Die Beseitigung des Wasserüberschusses durch Entwässerung und die damit Hand in Hand gehende Luftzufuhr wird zunächst die Wirkung ausüben, dass der Zersetzungsprocess in der bisherigen Form sistirt wird und dass durch Oxydationen verschiedene früher entstandene und zum Theil schädliche Verbindungen (schwefelsaures Eisenoxydul), sowie auch die Denitrificationserscheinungen, welche mit einer theilweisen Abspaltung freien Stickstoffs verknüpft sind, beseitigt werden. Eine kräftige Verwesung der unter Luftabschluss gebildeten organischen Substanzen wird jedoch nicht erwartet werden dürfen, weil diese sich, wie anderwärts gezeigt wurde (S. 115), dem Sauerstoff gegenüber sehr resistent verhalten. Nur in dem Falle, wo der Boden bearbeitet, der Luft mit grosser Oberfläche ausgesetzt wird und die Humussäuren durch Kalkungen beseitigt sind, wird eine grössere Thätigkeit des Bodens herbeigeführt werden, die sich besonders hinsichtlich derjenigen organischen Substanzen äussern wird, die in dem Boden sich bilden (Ernterückstände) oder demselben künstlich zugeführt werden.

Eine Unterstützung erhält der Zersetzungsprocess dadurch, dass die Entwässerung neben der Luftzufuhr die Wärmeverhältnisse des Bodens in günstiger Weise beeinflusst. Mit der Abnahme des Wassergehaltes nimmt die durchschnittliche Temperatur des Bodens unter sonst gleichen Verhältnissen zu (S. 157) und demgemäss selbstredend auch der Zerfall der organischen Stoffe.

Bezüglich der Feuchtigkeit, die eine so grosse Rolle bei allen organischen Processen spielt, werden gleichergestalt durch die Entwässerung des Bodens günstige Verhältnisse geschaffen, jedoch nur dann, wenn die betreffenden Verfahren den Eigenschaften des Erdreiches angepasst werden. Bei manchen Bodenarten und gewissen Zuständen derselben kann nämlich unter Umständen durch die Entwässerungsvorrichtungen so viel Wasser dem Erdreich entzogen werden, dass dasselbe während trockener Perioden einer für den Zerfall der organischen Stoffe, sowie für das Wachsthum der Pflanzen nachtheiligen Austrocknung unterliegt. Begreiflich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass durch die Entwässerungsvorrichtungen (Gräben, unterirdische Abzüge) alles Wasser dem Boden entzogen wird, welches derselbe nicht fest zu halten vermag und dass deshalb bei Böden, welche eine geringe Wassercapacität besitzen (leichte Böden) oder welche mit einem sehr starken Verdunstungsvermögen ausgestattet sind (Moorböden, mit perennirenden Pflanzen bestandene Böden), die nach der Entwässerung zurückbleibenden Wassermengen nicht ausreichend sind, das Erdreich während länger andauernder Trockenperioden feucht zu erhalten. Um den unter solchen Umständen sich geltend machenden Unzulänglichkeiten, welche sich in einer beträchtlichen Verminderung der Intensität der Zersetzungsprocesse resp. des Wachsthums der Pflanzen äussern, zu begegnen, wird man dafür Sorge tragen müssen, dass zur Zeit der stärksten Verdunstung (Sommer) eine Anfeuchtung des Bodens vorgenommen werden kann. In einfachster Weise geschieht dies bei der Grabenentwässerung durch Anbringung von Stauvorrichtungen in den Gräben, die nach der Frühjahrsentwässerung oder je nach Bedarf geschlossen erhalten werden, in vollkommenster Weise bei der Drainage

durch Anbringung einzelner Schliessapparate, mittelst welcher sich die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens vorzüglich reguliren lassen.

4. Die Bewässerung.

Die künstliche Zufuhr von Wasser ist besonders in dem Falle für die Zersetzungsvorgänge im Boden von Belang, wo demselben in Folge gewisser klimatischer Verhältnisse die zur Unterhaltung jener Processe erforderliche Feuchtigkeit mangelt. Letzteres kann bewirkt werden entweder durch geringe Niederschlagshöhe oder durch starke Verdunstung in Folge hoher Temperatur, heftige trockene Winde und niedrigen Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Je nach diesen Umständen ist die Grenze bezüglich der Niederschlagsmenge, bei welcher die Bewässerung auch in Rücksicht auf das Wachsthum der Culturpflanzen angezeigt ist, eine verschiedene. Für Länder, in welchen der Betrag der Verdunstung ein hoher und die Wassercapacität des Bodens gering ist, kann angenommen werden, dass die künstliche Anfeuchtung des Bodens nothwendig ist, wenn die Niederschlagsmenge weniger als 600 mm beträgt. In den entgegengesetzten Fällen dürfte eine Niederschlagshöhe von 400 mm als Grenze zu bezeichnen sein, unter welcher der Boden im grossen Durchschnitt nicht die für eine intensive Zersetzung der organischen Stoffe oder für ein kräftiges Wachsthum der Pflanzen erforderlichen Feuchtigkeitsmengen enthält.

Hinsichtlich der Art der Wasserzufuhr ist besonders in das Auge zu fassen, dass hierdurch weder eine Versumpfung, noch eine Auswaschung des Bodens herbeigeführt wird. Ueberstauungen bewirken leicht einen Luftabschluss, welcher zu einer Fäulniss der organischen Substanzen Veranlassung giebt, und sind daher im Allgemeinen weniger zweckmässig als jene Bewässerungsverfahren, bei welchen der Boden der Luft zugänglich bleibt (Berieselung). Im Uebrigen ist die Bewässerung in der Weise auszuführen, dass durch die mit dem Boden in Berührung kommenden Wassermengen keine stärkeren Absickerungen veranlasst werden, damit die mit letzteren nothwendig verknüpften Nährstoffverluste auf das geringste Maass herabgedrückt werden.

Der Umstand, dass der in dem Rieselwasser enthaltene Sauerstoff Oxydationen in dem Wiesenboden hervorruft, wie aus der Thatsache geschlossen werden darf, dass das unterirdisch abfliessende Drainwasser nicht nur eine geringere Menge Sauerstoff, sondern gleichzeitig eine erhöhte Menge Kohlensäure und Schwefelsäure im Vergleich zu dem aufrieselnden Wasser enthält[1]), hat *J. König*, der diese Vorgänge näher nachgewiesen hat, zu der Auffassung Veranlassung gegeben, dass die bezeichnete Wirkung des Wassers bei den Wiesen derjenigen gleichwerthig sei, welche durch die Bearbeitung auf dem Ackerlande hervorgerufen wird. Diese Deutung der betreffenden Erscheinungen muss indessen als übertrieben bezeichnet werden, weil die mit dem in den Boden eindringenden Bewässerungswasser enthaltenen Sauerstoffmengen gegenüber jenen, welche in einer normal gelockerten Ackerkrume circuliren, verschwindend klein sind. Dafür spricht besonders die Beobachtung, dass der Boden der Rieselwiesen, wenn auch nicht im gleichen Grade wie auf gewöhnlichen Wiesen, so doch in einem weit beträchtlicheren Umfange als auf den Ackerländereien eine

---

[1]) *J. König* und *C. Krauch*. Landwirthschaftliche Jahrbücher. Bd. XI. 1882. S. 203.

Anreicherung von Humusstoffen aufweist, deren Beschaffenheit nicht derart ist, dass sie als das Product eines kräftigen Oxydationsprocesses angesehen werden könnten.

5. Die Mischung des Ackerlandes mit anderen Erdarten.

In den für die Zersetzung der organischen Stoffe wichtigsten Eigenschaften der Ackererde können unter geeigneten Verhältnissen durchgreifende Veränderungen dadurch herbeigeführt werden, dass man dieselbe mit Erdarten mischt, die sich dem Wasser, der Luft und der Wärme gegenüber gerade entgegengesetzt oder doch günstiger verhalten. Ein zur Verbesserung der Thonböden oder ähnlich beschaffener Bodenarten vorzüglich geeignetes Material ist der Sand, sowie alle sandreichen Erdarten. Durch Einverleibung derselben in den Thon wird dieser poröser, für Luft zugänglicher; er verliert gleichzeitig in seinem starken Wasserfassungsvermögen, wird wärmer und leichter bearbeitbar. Die Aenderungen in der Durchlüftbarkeit treten hauptsächlich erst bei späterer Bearbeitung hervor und documentiren sich dadurch, dass sich nunmehr der Thon leichter in eine krümelige Masse verwandeln lässt. In besonderem Grade werden die Feuchtigkeitsverhältnisse der bindigen Bodenarten durch die Sandbeimischung beeinflusst, wie sich aus folgenden Zahlen[1]) ermessen lässt:

Während des Sommerhalbjahres.	Mittlerer volumprocentischer Wassergehalt. Lehm.	3/4 Vol. Lehm + 1/4 Vol. Quarzsand.	1/2 Vol. Lehm + 1/2 Vol. Quarzsand.	1/4 Vol. Lehm + 3/4 Vol. Quarzsand.	Quarzsand.
1882	34,35	29,81	23,75	16,53	11,68
1884	34,23	28,73	22,96	16,56	12,34.

Die volumprocentische Wassermenge des Lehmes wurde mithin in dem Maasse vermindert, als der Sandgehalt zunnahm.

Der Einfluss, welchen die Mischung mit Sand auf die Wärmeverhältnisse des Lehmes ausübt, lassen folgende Zahlen deutlich erkennen:

Bodentemperatur (°C.) in 15 cm Tiefe im Juli 1883.

Boden.	1.—5.	6.—10.	11.—15.	16.—20.	21.—25.	26—31.	Mittel.
Lehm	21,58	22,36	21,24	14,94	15,82	15,37	18,45
3/4 Vol. Lehm + 1/4 Vol. Sand	21,90	22,57	21,38	14,97	15,93	15,43	18,59
1/2 Vol. Lehm + 1/2 Vol. Sand	22,94	23,13	21,44	15,10	16,15	15,66	18,80
1/4 Vol. Lehm + 3/4 Vol. Sand	23,54	23,32	21,60	15,18	16,33	15,87	19,20
Sand	23,79	23,75	21,62	15,22	16,46	16,12	19,38

Diese Zahlen vermitteln die Thatsache, dass der Lehm mit zunehmendem Sandgehalt während der wärmeren Jahreszeit eine entsprechend höhere Temperatur annimmt.

Der Lehm resp. der Thon erleidet durch die Sandbeimischung, wie aus dem Mitgetheilten deutlich erkennbar ist, in dem Verhalten zur Luft, zum Wasser und zur Wärme Veränderungen, durch welche für die Zersetzung der organischen Stoffe

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVIII. 1895. S. 33

günstigere Bedingungen herbeigeführt werden. In der That unterliegen alle Substanzen vegetabilischen und animalischen Ursprungs in einem derartig meliorirten Boden viel schneller dem Zerfall als vorher.

Bei sandreichen, leichten Böden werden zur Verbesserung ihrer physikalischen Eigenschaften am besten thonreiche und feinkörnige Erdarten (Mergel) verwendet, die im Vergleich zu ersteren eine grössere Wassercapacität, eine bessere Absorptionsfähigkeit für Pflanzennährstoffe und ein geringeres Erwärmungsvermögen besitzen. Sie sind daher ganz besonders dazu geeignet, dem Sande beigemischt, dessen Thätigkeit in einer für die Fruchtbarkeit des Bodens nach verschiedener Richtung hin günstigen Weise abzuändern.

Für die humusreichen Bodenarten, resp. Humusböden, eignet sich besonders der Sand als Meliorationsmaterial, insofern durch die Beimischung desselben jene Böden in ihrer hohen Wassercapacität eine Einbusse erleiden, während gleichzeitig ihre Erwärmungsfähigkeit eine Erhöhung erfährt (S. 285 u. 287). In Folge dieser Einwirkungen wird naturgemäss die Thätigkeit der in bezeichneter Weise verbesserten Humusböden gesteigert.

6. Die Düngung.

Die Düngung mit Materialien organischen Ursprungs, von welcher hier zunächst ausgegangen sein mag, hat für die Fruchtbarkeit der Böden im Allgemeinen die Bedeutung, dass ein mehr oder weniger grosser Theil der Nährstoffe sich in einem nicht aufnehmbaren Zustande befindet und erst allmählich in Folge von Zersetzungsvorgängen in einen solchen im Boden übergeht. Dadurch wird die Gefahr, dass werthvolle Bestandtheile durch Auswaschungen verloren gehen, vermindert. Im Uebrigen ist die Ausnutzung der in genannten Düngemitteln enthaltenen Nährstoffe wesentlich von dem Zersetzungsgrad der Materialien und der Art ihrer Anwendung abhängig.

Hinsichtlich des ersteren Punktes ist zu berücksichtigen, dass auf Bodenarten, in welchen die Zersetzungsprocesse nur langsam verlaufen und gleichzeitig die Sickerwassermengen gering sind (bindige Böden), die Wirkung der organischen Düngemittel nur in dem Falle eine den Anforderungen entsprechende ist, wenn dieselben in einem bereits innerhalb gewisser Grenzen vorgeschrittenen Zersetzungsgrade dem Ackerlande einverleibt werden, also in einem Zustande, in welchem sie eine grössere Menge fertig gebildeter Nährstoffe enthalten. Für Böden dagegen, in welchen der Zerfall der organischen Stoffe leicht von Statten geht und sich grössere Mengen von Sickerwasser bilden, wird es vortheilhaft sein, die in Rede stehenden Düngemittel in wenig zersetztem Zustande anzuwenden, damit einer etwaigen Auswaschung von Nährstoffen thunlichst vorgebeugt werde.

In gleicher Weise wird bezüglich der Menge des Düngers, der Zeit und der Tiefe seiner Unterbringung die physikalische Beschaffenheit des Culturlandes in Betracht zu ziehen sein, um einerseits die Pflanzen mit reichlichen Nährstoffmengen versehen, andererseits aber einen Verlust an letzteren verhüten zu können. Bei der Zufuhr grösserer Mengen von Stallmist auf leichten sandigen Bodenarten entstehen durch rasche Zersetzung leicht in kurzer Zeit so viel Nährstoffe, dass dieselben in grösserem oder geringerem Umfange durch Auswaschung verloren gehen können, weil solche Böden nur ein geringes Absorptionsvermögen besitzen und grössere Sicker-

wassermengen liefern. In Rücksicht auf diese Verhältnisse erscheint es geboten, 1) die sandigen Böden nicht auf einmal zu stark, sondern öfter und dann jedesmal weniger stark zu düngen, 2) den Dünger nicht lange Zeit vor der Saat, sondern kurz vor derselben auf das Ackerland zu bringen und unterzupflügen und 3) den Dünger tiefer unterzuackern als auf anderen Bodenarten. Diese Regeln werden um so strenger befolgt werden müssen, je weiter der Zersetzungsprocess in dem Stalldünger bereits vorgeschritten war. Bei bindigen Böden, in welchen der Zerfall der organischen Stoffe nur langsam von Statten geht und grössere Sickerwassermengen nicht gebildet werden, das Absorptionsvermögen für Pflanzennährstoffe in der Regel ein starkes ist, wird man bei der Düngung den entgegengesetzten Weg einzuschlagen haben. Bei diesen Böden wird sich die Nothwendigkeit herausstellen, den Stalldünger in weit grösseren Mengen und seltener als auf leichten Böden und längere Zeit vor der Bestellung dem Ackerlande einzuverleiben. Weiters wird auf eine flache, nur 8—12 cm tiefe Unterbringung des Düngers Bedacht zu nehmen sein, weil nur in diesem Falle die Zersetzung desselben normal vor sich gehen kann. Bei tieferer Lage unterliegt der Dünger in Folge mangelnden Luftzutrittes ungemein leicht der Fäulniss und bildet, ohne zu einer entsprechenden Wirkung gelangt zu sein, grösstentheils eine torfähnliche Masse, die sich noch nach Jahren im Boden vorfindet.

Durch das Verfahren, den Stalldünger im ausgebreiteten Zustande längere Zeit vor der Unterbringung auf dem Ackerlande liegen zu lassen, kann auf die Zersetzungsvorgänge der von letzterem eingeschlossenen organischen Stoffe eine ähnliche Wirkung ausgeübt werden wie durch die Brache. Durch Beschränkung der Verdunstung wird der Boden unter der Düngerdecke feuchter als im Brachlande, die Erwärmung ist aber vergleichsweise eine geringere als im letzterem. In welchem Grade die durch die Bedeckung abgeänderten Eigenschaften sich für den Verlauf der Zersetzung der organischen Stoffe im Boden maassgebend erweisen, hängt vornehmlich von den Witterungsverhältnissen ab. In den diesbezüglichen Versuchen des Verfassers[1]) war im Jahre 1878 der mit einer Strohdecke versehene Boden in den meisten Fällen und im Durchschnitt kohlensäurereicher als der unbedeckte, während im Jahre 1884 das entgegengesetzte Resultat erhalten wurde. Es betrug im Durchschnitt der Kohlensäuregehalt der Bodenluft (pro 1000 Vol.):

	Strohdecke.	Nackt.
1878	6,750	8,830
1884	5,567	4,681.

Die Unterschiede zwischen dem bedeckten und nackten Boden in den beiden Versuchsjahren sind auf solche in dem Gange der Witterung zurückzuführen. Im Jahre 1878 waren die Niederschläge gleichmässiger und ergiebiger als im Jahre 1884. In Folge dessen wurden die Verschiedenheiten in dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens im ersteren Jahr mehr herabgedrückt als in letzterem, in welchem dieselben wegen häufig auftretender Trockenperioden und höherer Wärmezufuhr beträchtlich vermehrt wurden. Aus diesen Gründen konnte im Jahr 1878 die im Vergleich zu dem bedeckten Boden höhere Temperatur des Brachlandes bezüglich der Zersetzung der organischen Stoffe zur vollen Wirkung gelangen, wohingegen dieselbe im Jahre 1884 durch die vergleichsweise trockenere Beschaffenheit des Bodens abgeschwächt wurde,

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. III. 1880 S. 7 und Bd. IX. 1886. S. 185.

derart, dass nunmehr der höhere Feuchtigkeitsgehalt des mit einer Decke versehenen Bodens das Uebergewicht erlangte. Solche Thatsachen führen zu dem Schluss, dass die Zersetzung der organischen Stoffe im Brachlande in feuchten Jahren in stärkerem, in trockenen Jahren dagegen in schwächerem Grade vor sich geht als in dem bedeckten Boden.

Die bezüglichen Unterschiede sind indessen nicht sehr bedeutend, weshalb im Grossen und Ganzen der Einfluss einer Decke lebloser Gegenstände auf die Zersetzungsvorgänge im Boden demjenigen der Brachehaltung gleichgesetzt werden kann. Aus diesem Grunde ist denn auch die Anwendbarkeit des Verfahrens nach denselben Gesichtspunkten zu beurteilen, welche in dieser Beziehung für die Brache maassgebend sind. Es wird überall vortreffliche Dienste leisten, wo der Boden in Folge von anhaltender Dürre oder durch sehr dichtstehende, viel Wasser beanspruchende Pflanzen stark ausgetrocknet worden war. Durch die Ansammlung normaler Feuchtigkeitsmengen im Boden unter der Stallmistdecke und durch die Verhinderung einer Krustenbildung wird direct und indirect das Wachsthum der folgenden Frucht gefördert. Unter dem Einfluss des ungehinderten Luftzutrittes und der fast stets feuchten Umgebung findet in der Düngerdecke eine schnelle Zersetzung statt und die hierbei gebildeten Pflanzennährstoffe, durch die atmosphärischen Niederschläge in den Boden gewaschen, verbreiten sich dort in sehr vollkommener Weise. Der Einwand, dass das im Dünger enthaltene oder bei der Zersetzung sich bildende Ammoniak an der Luft verloren gehe, ist nicht stichhaltig, da nach den Versuchen von *H. Hellriegel*[1]) die sich verflüchtigenden Mengen kaum wägbar sind. Die unter der Düngerdecke feucht bleibende Ackererde absorbirt das aus jener sich bildende Gas in aller Vollständigkeit. Nur wenn die Ausbreitung eines sehr verrotteten Düngers in der heissen Jahreszeit erfolgt, wird ein Verlust unvermeidlich sein. Dasselbe ist auch der Fall, wenn die Ackerfläche auf bindigen Böden eine Neigung besitzt, weil das bei grösseren atmosphärischen Niederschlägen über die Oberfläche abfliessende Wasser die Nährstoffe entführt. Diesem Uebelstande kann indessen dadurch begegnet werden, dass man den Boden, bevor er mit dem Dünger bedeckt wird, lockert, und so das Eindringen des Wassers in denselben erleichtert.

Unter solchen Verhältnissen, wo der Boden bei Herstellung der Düngerdecke bereits mit grösseren Feuchtigkeitsmengen versehen ist, kann dagegen das in Rede stehende Verfahren nicht unerhebliche Verluste an Nährstoffen, besonders an salpetersauren Salzen herbeiführen. Wie S. 320 nachgewiesen wurde, wird durch die Decke die Drainwassermenge im Boden vermehrt und damit die Gefahr vergrössert, dass unter den bezeichneten Feuchtigkeitszuständen des Bodens mit dem in die Tiefe absickernden Wasser Nährstoffe fortgeführt werden. Dieser Verlust wird um so grösser sein, je geringer die Wassercapacität des Bodens und das Absorptionsvermögen desselben für Pflanzennährstoffe, je ergiebiger die atmosphärischen Niederschläge sind. Deshalb sollte das Verfahren auf sandigen und ähnlich beschaffenen Bodenarten überhaupt nicht oder doch nur dann in Anwendung kommen, wenn dieselben an Trockenheit leiden.

Auf bindigen Böden ist zwar wegen der geringeren Durchlässigkeit und des höheren Absorptionsvermögens derselben für Pflanzennährstoffe der betreffende Verlust ver-

[1]) *H. Hellriegel.* Chemischer Ackersmann. 1855. S. 39 und 1856. S. 87.

gleichsweise geringer als unter den vorbezeichneten Verhältnissen, aber Schädigungen ihrer Fruchtbarkeit anderer Art lassen es wünschenswerth erscheinen, von der Herstellung einer Düngerdecke dann Abstand zu nehmen, wenn die Ackererde sich in einem gut durchfeuchteten Zustande befindet. Unter solchen Umständen sammeln sich in Folge der beschränkten Verdunstung übermässige Wassermengen in der Ackererde an, die einerseits die normale Zersetzung (Verwesung) der organischen Stoffe beeinträchtigen, andererseits die Herstellung einer krümeligen Ackerkrume bei späterer Bearbeitung wesentlich erschweren.

Bleibt die Düngerdecke auf bindigen Böden unter den angenommenen Verhältnissen während des Winters liegen, so kann ein solches Verfahren, abgesehen von den Folgen der Ansammlung von Nässe, dadurch einen nachtheiligen Einfluss äussern, dass die Wirkungen des Frostes auf die Lockerung des Bodens, welche für die Fruchtbarkeit dieser Ackererden so bedeutsam ist, beträchtlich vermindert werden, wegen des durch die Decke bedingten Schutzes des Bodens gegenüber grellen Temperaturschwankungen[1]).

Von solchen, wie den vorstehend entwickelten Gesichtspunkten wird die Anwendbarkeit des Verfahrens des Obenaufbreitens und Liegenlassens des Stalldüngers unter den verschiedenen localen Verhältnissen zu beurtheilen sein.

Inwieweit die Verwesung resp. die Nitrification durch Zufuhr von Salzen, wie solche in den künstlichen Düngemitteln enthalten sind, beeinflusst werden kann, lässt sich nach den Darlegungen auf S. 135 bis 140 ermessen. Sobald durch Düngungen solcher Art eine höhere Concentration der Bodenlösung herbeigeführt wird, erleidet sowohl der Verwesungs- als auch der Salpeterbildungsprocess eine wesentliche Einbusse. Derartige schädliche Wirkungen treten in die Erscheinung, wenn einerseits die Menge der leicht lösliche Salze enthaltenden Düngemittel eine übermässige ist, oder in dem Falle, wo der Boden einen mässigen Feuchtigkeitsgehalt besitzt und die Niederschläge in der Folge spärlich sind. Unter diesen Verhältnissen wird sowohl die Zersetzung der organischen Stoffe als auch der Uebertritt des Wassers in die Pflanze gehemmt und somit nach zwei Richtungen hin die Bodenfruchtbarkeit in nachtheiliger Weise beeinflusst. Auf diese Ursachen ist z. B. u. a. die Erscheinung zurückzuführen, dass die Jauche, welche bekanntlich mit reichlichen Mengen von Ammoniak- und Kaliumcarbonat versehen ist, bei trockener Beschaffenheit des Bodens auf Wiesen angewendet, das Pflanzenwachsthum schädigt und unter Umständen zu Grunde richtet. Aehnliche Wirkungen werden beobachtet, wenn Dungsalze in zu reichlicher Menge bei einem geringen Feuchtigkeitsgehalt des Bodens angewendet werden und die nachfolgende Witterung trocken ist.

Bei entsprechender Verdünnung der Salzlösung im Boden kann, wie aus den citirten Darlegungen geschlossen werden muss, durch Düngung nach verschiedenen Richtungen die Zersetzung der organischen Substanzen und der Nitrificationsprocess im Boden beeinflusst werden. Unter der angegebenen Bedingung hat die Zufuhr von Carbonaten und Phosphaten der Alkalien und alkalischen Erden einen fördernden Einfluss auf die Verwesung und die Salpeterbildung, während die Chloride die Intensität dieser Processe herabdrücken. Sulfate beeinträchtigen die Oxydation des

---

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VI. 1883. S. 198.

Kohlenstoffs, erweisen sich aber andererseits für den Nitrificationsprocess von nützlicher Wirkung.

Der Aetzkalk und das Calciumcarbonat verzögern zwar die Verwesung der unzersetzten organischen Stoffe, üben aber einen günstigen Einfluss auf den Zerfall solcher organischen Substanzen aus, welche bereits in Zersetzung übergegangen sind (S. 133), sowie auch auf die Oxydation des Ammoniaks zu Salpetersäure (S. 135). Auf Böden, in welchen in Folge eines Uebermaasses von Wasser (Sumpf- und Moorländereien) oder grosser Feinheit der Bodenpartikel (Thonböden) die organischen Substanzen der Fäulniss unterliegen und sich deshalb grössere Mengen von freien Humussäuren bilden, können Düngungen mit Aetzkalk oder kohlensaurem Kalk (Mergel) auch durch Bindung der Säuren einen wohlthätigen Einfluss auf die Fruchtbarkeit solcher Böden ausüben. Da die saueren Humusstoffe an sich den Culturgewächsen schädlich sind, so wird es begreiflich, dass der Aetzkalk schon durch Beseitigung der Säuren eine nützliche Wirkung ausüben muss. Dazu kommt aber noch, dass die gebildeten Humusverbindungen sich schneller zersetzen als die freien Säuren (S. 134) und dass demgemäss jene grössere Mengen von Pflanzennährstoffen zur Verfügung stellen als letztere. Der Kalk beseitigt also unter den in Rede stehenden Verhältnissen dem Wachsthum der Nutzpflanzen schädliche Stoffe und eröffnet ausserdem der Vegetation reichliche bis dahin unzugängliche Quellen an Pflanzennährstoffen.

Jene Wirkungen erstrecken sich aber auch auf das unter bezeichneten Umständen häufig auftretende und der Vegetation schädliche schwefelsaure Eisenoxydul, welches bei der Zufuhr von Kalk (Kalkhydrat oder Kalkcarbonat) zerlegt wird, wobei sich Gips und ausserordentlich leicht oxydirbares Eisenoxydulhydrat bildet, welches unter dem Zutritt der Luft sich sehr bald in das dem Pflanzenwachsthum gegenüber sich indifferent verhaltende Eisenoxydhydrat verwandelt. Bemerkenswerth hierbei ist ferner der Umstand, dass mit der Zerstörung des Eisensulfates, welches, so lange es im Boden anwesend ist, die Salpeterbildung hindert (S. 137), gleichzeitig letzterer Process eine Förderung erfährt.

Schliesslich kommen hier jene Wirkungen in Betracht, welche die Düngemittel auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens und dadurch auf die in demselben vor sich gehenden Zersetzungsvorgänge ausüben. Bezüglich der humosen Bestandtheile, welche sich bei Zufuhr von Düngemitteln organischen Ursprungs in mehr oder minder grossen Mengen im Boden ansammeln, wurde bereits bei einer anderen Gelegenheit gezeigt (S. 285), dass dieselben in bindigen Böden die Krümelbildung wesentlich unterstützen und in leichten sandigen Böden zu einer Erhöhung der Wassercapacität beitragen, also in beiden Fällen die hinsichtlich der Zersetzungsvorgänge ungünstigen Eigenschaften der betreffenden Bodenarten vortheilhaft beeinflussen. Gleichergestalt üben die verschiedenen in den künstlichen Düngemitteln enthaltenen Salze, selbst in geringen Mengen, auf die mechanische Beschaffenheit des Bodens eine durchgreifende Wirkung aus, welche, weil sie sich auf die Art der Zusammenlagerung der Bodentheilchen erstreckt, nothwendigerweise auch für die Zersetzung der organischen Stoffe belangreich sein muss (S. 336).

Ueber die Betheiligung gewisser Salze an der Structurbildung in den feinkörnigen thonreichen Böden geben die Arbeiten von *Ad. Mayer*, *E. W. Hilgard*

und *W. J. A. Bliss*[1]) werthvolle Aufschlüsse. Ueber die Vorgänge, welche bezüglich der Zusammenlagerung der Bodentheilchen unter dem Einfluss der Salze vor sich gehen, ist zunächst Folgendes anzuführen.

Schlämmt man Thon in Wasser auf, was am besten gelingt, wenn man feine Porcellanerde (Kaolin) mehrere Tage mit Wasser kocht unter öfterem Umschütteln der Flüssigkeit, und überlässt alsdann das Gemisch der Ruhe, so setzen sich die Bodentheilchen ab, je nach ihrer specifischen Grösse. Befinden sich in dem Wasser geringe Mengen von Alkalien, phosphorsauren und kohlensauren Alkalien, so findet im Ganzen derselbe Process statt, oder das Absetzen wird beschleunigt. Der Absatz zeigt ein dichtes Gefüge, indem die Theilchen sich eng aneinander gelagert haben (Einzelkornstructur). Ganz anders gestalten sich diese Verhältnisse, wenn man dem Wasser geringe Mengen von Mineralsäuren, Salz-, Salpeter-, Schwefelsäure oder von deren Salzen beimischt. Hier schlägt sich der Thon flockig nieder, indem die Thontheilchen zu Aggregaten zusammentreten (Krümelstructur). Der Niederschlag ist in Folge dessen locker und nimmt ein grösseres Volumen ein, als bei Anwendung reinen Wassers oder verdünnter Lösungen von Alkalien oder kohlensauren Alkalien. Aehnlich wie der Thon verhalten sich Sedimente, welche dieselbe Feinheit der kleinsten Theilchen besitzen wie jener.

Aus der an erster Stelle angeführten Thatsache geht hervor, dass Düngemittel, welche alkalische Carbonate enthalten, die Krümelbildung im Boden beeinträchtigen, unter Umständen unmöglich machen. *E. W. Hilgard*[2]) führt hierfür ein interessantes Beispiel an. In Californien treten Böden auf, welche volksthümlich „Alkaliböden“ genannt werden. „Diese enthalten so viel leicht lösliche Salze, dass sich dieselben durch Efflorescenz auf der Oberfläche kundgeben. Unter diesen sind diejenigen, welche alkalische Carbonate enthalten, nicht schwer zu erkennen durch ihre Festigkeit und die Schwierigkeit, oder fast Unmöglichkeit, darin eine eigentliche «Ackerkrume» herzustellen. Vielfach wechselt das in vortrefflichem Culturzustande sich befindende Land derart mit dem «Alkaliland» ab, dass das eine nicht gut ohne das andere zu bewirthschaften ist. Ein solches Feld sieht daher pockennarbig aus. Wird es kreuzweise gepflügt, dann geeggt, bis die Egge nicht mehr wirkt, so verwandelt sich das Alkaliland in ein Haufwerk abgerundeter Schollen von der Grösse einer Erbse bis zu der einer Billardkugel; von Ackerkrume ist keine Rede. Unter der gleichen Behandlung ist der höhere, alkalifreie Theil des Feldes in solchem Bestellungszustande, dass es einem Aschenhaufen gleicht.“

Die von dem Alkaliboden ausgelaugte schwarzbraune Lösung gab 0,251% festen Rückstand, in welchem 0,158 in Wasser löslich waren. Der lösliche Theil bestand aus:

---

[1]) ***Ad. Mayer.*** Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. II. 1879. S. 251. — ***E. W. Hilgard.*** Ebenda. Bd. II. 1879. S. 441. — ***W. J. A. Bliss.*** Physical Review. Vol. II. Nr. 11. 1895. p. 241. — Vergl. ferner: ***Ad. Mayer.*** Journal für Landwirthschaft. Bd. XXVII. 1879. S. 389. — ***Th. Schloesing.*** Journal de l'agriculture. 1874. Nr. 287—290. ***G. Reinders.*** Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Bd. XIX. 1876. S. 190. — ***W. Durham.*** Chemical News. T. 37. Nr. 949 und T. 30. Nr. 767.

[2]) a. a. O. — Ferner: Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVI. 1893. S. 131.

Kohlensaurem Natron.	Chlornatrium.	Schwefelsaurem Natron.	Phosphorsaurem Natron.
52,74	38,08	13,26	1,83.

Die Menge des ersteren Salzes stellte sich für die Gesammtbodenmasse auf 0,08 %. Eine derartig geringe Menge von Natriumcarbonat genügte also, um die geschilderte dichte Lagerung der Bodentheilchen zu veranlassen.

„In solchen Fällen nun bringt die Zuthat einer zur doppelten Zersetzung hinlänglichen Menge Gips eine auffällige Wirkung hervor, welche im Kleinen sich beobachten lässt, aber im Grossen natürlich einiger Zeit und wiederholter Bearbeitung bedarf, um die mechanische Beschaffenheit der Ackerkrume nach Wunsch zu verbessern. Die kaustische Wirkung des Alkalicarbonates auf Samen und Pflanzen wird indessen durch den Gipszusatz sofort aufgehoben, so dass, wo vorher nur Alkaligras (Brizopyrum) und Chenopodeen ihre Existenz fristen konnten, nun Mais und Weizen ohne Schwierigkeit fortkommen.“ Der Einfluss, den der Gips hier auf den Boden ausübt, ist leicht zu verstehen, wenn man berücksichtigt, dass sich derselbe mit dem Alkalicarbonat umsetzt, wobei in Folge Bildung von Natriumsulfat die kaustischen Eigenschaften des Natriumsalzes beseitigt werden.

Hinsichtlich der Einwirkung der übrigen oben aufgeführten Salze auf die mechanische Beschaffenheit des Erdreiches könnte aus den Ergebnissen der diesbezüglichen Versuche der Schluss abgeleitet werden, dass die Zuführung dieser Salze (Chloride und Nitrate) die Bildung der Krümel im Boden unterstützen müsse. Dies ist jedoch nur so lange der Fall, als sich diese Salze in der Bodenlösung vorfinden. Sobald sie aber von den in die Erde eindringenden meteorischen Wässern ausgewaschen werden, was um so leichter von Statten geht, als die meisten bezeichneten Salze vom Boden nicht absorbirt werden, so tritt ein Dichtschlämmen der Ackererde ein, welches zu fast vollständiger Undurchlässigkeit derselben für Luft und Wasser und somit direct und indirect zu einer sehr bedeutenden Verminderung der Fruchtbarkeit des Bodens führen kann. Der nachtheilige Einfluss der Salze tritt, wie angedeutet, anfangs nicht hervor, im Gegentheil werden bei der Anwendung derselben häufig hohe Ernten erzielt, bis plötzlich ein bedeutender Rückschlag eintritt, nämlich dann, wenn der grösste Theil der Salze aus dem Boden ausgewaschen und damit ihr Einfluss auf die für die lockere Beschaffenheit des Erdreiches so bedeutungsvolle Krümelstructur aufgehoben ist.

Nach dem Vorstehenden unterliegt es keinem Zweifel, dass reichliche Düngungen mit solchen Materialien, welche grössere Mengen von salz- und salpetersauren resp. von phosphor- und schwefelsauren Salzen enthalten, sowie Salzwasserüberschwemmungen auf allen sehr feinkörnigen, namentlich thonhaltigen Böden nachträglich oder direct einen für die Fruchtbarkeit derselben schädlichen Einfluss insofern ausüben, als der Boden für längere Zeit eine für die Zersetzung der organischen Stoffe und für das Wachsthum der Culturpflanzen schädliche mechanische Beschaffenheit (Einzelkornstructur) annimmt. Deutlich treten diese Gesetzmässigkeiten zum Beispiel in die Erscheinung in dem mechanischen Verderben thonhaltiger Böden durch wiederholte und einseitige Salpeterdüngung. „Ein in dieser Weise forcirter Boden giebt bekanntlich im Anfang schöne Ernten, zeigt dann plötzlich einen Zurückgang, einen Zurückgang, welcher sich nach dem Urtheile gewiegter Praktiker nicht einfach wie beim Sandboden durch eine allerseits vollständige Düngung wieder heben lässt. Der Boden

ist mechanisch für lange Zeit ruinirt und die in landwirthschaftlichen Dingen weitblickenden Engländer haben darum die Salpeterdüngung in Verruf erklärt." Ebenso verhalten sich auch die salzsauren Salze.

Von allen in der landwirthschaftlichen Praxis angewendeten Düngemitteln übt der Aetzkalk die günstigste Wirkung auf die mechanische Beschaffenheit des Bodens aus. Wird derselbe dem Boden beigemischt, so bilden sich lose, flockige Aggregate (Krümel), welche allen, auf ihre Zerstörung hinwirkenden äusseren Einflüssen lange Zeit, oft viele Jahre widerstehen. Hiermit stimmt die praktische Erfahrung überein, dass das Kalken die Thonböden leichter bearbeitbar macht[1]). *Hilgard* fand, „dass auch, wenn man Kohlensäuregas 24 Stunden lang durch ein mit Aetzkalk versetztes Thonmagma leitet, wo dann alle alkalische Reaction verschwunden ist, die Plasticität auch nach dem Trocknen und damit verbundener Zerstörung der kohlensauren Kalklösung nicht wieder hergestellt wird". Um eine derartige günstige Wirkung auf die mechanische Beschaffenheit des Bodens hervorzurufen, bedarf es grösserer Mengen von Aetzkalk als in dem Falle, wo der Kalk als Nährstoff oder behufs Hervorrufung chemischer Veränderungen im Boden zugeführt werden soll. Um auf thonhaltigen Bodenarten eine Verbesserung der physikalischen Beschaffenheit derselben zu bewirken, verwendet man je nach der Bündigkeit etwa 5000—15000 kg Aetzkalk und darüber. Die Düngungen sind dann alle 6—8 Jahre zu wiederholen.

Der kohlensaure Kalk ist von ähnlichem Einfluss wie der Aetzkalk, wenn auch in einem weit schwächeren Grade. Im Gemisch mit anderen Erdarten (Mergel), besonders mit Sand, wirkt er auf thonreiche Bodenarten auf deren physikalische Beschaffenheit durch die beigemengten Bestandtheile günstig ein.

7. Die Cultur der Humusböden.

a) Die Wiesenböden.

Die Wiesenböden unterliegen, wenn sie permanent der Futtergewinnung dienen, im Laufe der Zeit Veränderungen, welche hauptsächlich darin bestehen, dass die Menge der organischen Bestandtheile in Form von sauerem Humus eine stetige Zunahme erfährt, derart, dass die obersten Schichten des Bodens einen anmoorigen Charakter annehmen, d. h. eine torfige Beschaffenheit zeigen (Wiesentorf). Hand in Hand mit diesen Humusansammlungen macht sich eine Vermehrung des Wassergehaltes des Bodens bemerkbar wegen des ausserordentlichen Wasserfassungsvermögens jener Substanzen. Die Folgen einer derartigen Veränderung des Wiesenbodens treten nicht allein in einer stetigen Abnahme der Quantität der Erträge, sondern auch in einer solchen der Qualität des gewonnenen Productes in die Erscheinung, indem die besseren Wiesenpflanzen verschwinden und den saueren Gräsern den Platz einräumen.

Welcher Art die Ursachen sind, die den geschilderten ungünstigen Zustand des Wiesenlandes herbeiführen, wird am besten ermessen werden können, wenn man einen Vergleich zwischen Acker- und Wiesenland anstellt in Bezug auf das Schicksal der dem Boden verbleibenden Pflanzenreste. Im ersteren Fall wird der Boden durch die öfter vorgenommene Bearbeitung der Luft zugänglich gemacht, weshalb die vor-

[1]) *Fr. Schulze. Poggendorff's* Annalen. Bd. 129. S. 366. — *Fr. Haberlandt.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. I. 1878. S. 148.

handenen organischen Stoffe der Verwesung unterliegen und sich verflüchtigen können. Unterstützt wird dieser Process überdies dadurch, dass das Ackerland wegen weniger dichten Standes der Pflanzen und während der zwischen der Aberntung der einen Frucht und dem Anbau der anderen liegenden Brachezeiten eine gewisse höhere Temperatur annimmt. Ganz anders gestalten sich diese Verhältnisse bei dem Wiesenboden. Da derselbe niemals gelockert wird, ist er dem Zutritt der Luft mehr oder weniger entzogen und zwar nicht allein insofern, als sich der Boden fester zusammenlagert, sondern auch deshalb, weil das zahlreich vorhandene Wurzelgeflecht alle Hohlräume desselben ausfüllt. Dazu kommt, dass der fortwährend mit einer lebenden Pflanzendecke versehene Boden sich auf einer verhältnissmässig niedrigen Temperatur erhält. Beide Umstände, die beschränkte Luftzufuhr und die geringe Erwärmung, bedingen, dass die alljährlich absterbenden Wurzeln der Pflanzen nicht verwesen können, dass diese vielmehr jenem Zersetzungsprocess unterliegen, der als Fäulniss bezeichnet wird und welcher eben dadurch charakterisirt ist, dass er zur Ansammlung von saueren Humussubstanzen (Torf) führt. In dem Maasse sich letztere vermehren, gestalten sich die Fruchtbarkeitsverhältnisse des Bodens immer ungünstiger, weil aus dem bereits angeführten Grunde der Feuchtigkeitsgehalt des Erdreiches in dem gleichen Grade zunimmt, derart, dass das Land schliesslich der Versumpfung anheimfällt und damit zur Hervorbringung einer den Anforderungen entsprechenden Vegetation ungeeignet wird.

Zur Beseitigung der geschilderten Unzulänglichkeiten sind verschiedene Verfahren in Vorschlag gebracht worden. Im Wesentlichen beruhen dieselben entweder darauf, durch Entwässerung und durch Zuführung geeigneter Substanzen das Uebermaass von Wasser zu entfernen und die Humussäuren zu binden, resp. die etwa vorhandenen schädlichen Desoxydationsproducte zu zerstören, oder mittelst Umbau der Wiesen mit oder ohne Zerstörung der Grasnarbe eine mehr oder weniger gründliche Lockerung des Bodens herbeizuführen.

In allen Fällen wird sich zunächst eine Regulirung der Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens, wie solche durch Entwässerung bewirkt wird, als erforderlich erweisen, und zwar entsprechend dem Wasserbedürfniss der Wiesenpflanzen, welches ein höheres ist als dasjenige der Ackergewächse. Diese Unterschiede sind nicht durch specifische Eigenschaften der Pflanzenarten bedingt, sondern durch die verschiedene Standdichte und Vegetationsdauer der betreffenden Gewächse hervorgerufen. Die Ackerpflanzen, welche bei einem weiteren Stande der Individuen angebaut werden und eine kürzere Wachsthumszeit besitzen, nehmen in Folge dessen die Bodenfeuchtigkeit in einem viel geringeren Grade in Anspruch als die Wiesenpflanzen. Sind Zahlen beliebt, so kann man auf Grund der bisherigen Versuche annehmen, dass die Körnerfrüchte 40—60%, die Wiesenpflanzen etwa 60—80% derjenigen Wassermenge beanspruchen, welche der Boden im vollständig gesättigten Zustande zu fassen vermag. In Rücksicht auf dieses grosse Wasserbedürfniss der Wiesenpflanzen bietet die Entwässerung des Bodens insofern einige Schwierigkeiten, als mittelst der gewöhnlichen Entwässerungsverfahren (Grabenentwässerung und Drainage) dem Boden leicht solche Wassermengen entzogen werden, dass der Feuchtigkeitsgehalt unter jene Grenze sinkt, bei welcher die Wiesengewächse das Maximum des Ertrages gewähren. Aus diesem Grunde wird man bei naturgemässer Behandlung des Wiesenlandes dafür Sorge tragen müssen, dass zur Zeit des kräftigsten Wachsthums, d. h. des höchsten Wasser-

bedürfnisses der Pflanzen eine Anfeuchtung des Bodens vorgenommen werden kann. In einfachster Weise geschieht dies bei der Grabenentwässerung durch Anbringung von Stauvorrichtungen in den Gräben, die je nach Bedarf, besonders während der wärmeren Jahreszeit geschlossen erhalten werden, in vollkommenster Weise bei der Drainage durch Anbringung von Schliessapparaten, mittelst welcher die Feuchtigkeit dem Bedürfniss der Pflanzen entsprechend, auch unter Umständen mit Hilfe unterirdisch zugeführten Wassers sich vorzüglich reguliren lässt.

Die Erfolge, welche durch Entwässerung oder durch Kalkdüngungen erzielt werden, sind in der Regel nicht ausreichend, die ungünstigen Bodenzustände zu beseitigen, aus dem einfachen Grunde, weil die Ursachen der letzteren durch jene Operationen nur unvollkommen beseitigt werden. Zwar werden durch die Anlage von Gräben oder unterirdischen Abzügen die überschüssigen Wassermengen beseitigt, durch die Aufbringung von Kalk die Humussäuren gebunden und im Boden befindliche lösliche Eisenverbindungen (schwefelsaures Eisenoxydul) unschädlich gemacht; allein diese Veränderungen sind unzulänglich, um den Boden in einen Zustand höherer Fruchtbarkeit zu versetzen, weil der Zutritt der Luft zu dem Boden nach wie vor, wenn auch nicht mehr in demselben Grade wie früher, so doch immer noch in einem schädlichen Umfange gehemmt ist. So lange dieser Zustand fortdauert, kommen auch die etwa vorgenommenen Düngungen mit geeigneten Pflanzennährstoffen nicht zur vollen Wirkung und erweisen sich dieselben demgemäss meistentheils nicht rentabel.

Um den Boden gründlich zu verbessern, wird es sich empfehlen, einen Umbruch des Wiesenlandes vorzunehmen. Dies kann in der Weise geschehen, dass man die Grasnarbe abschält, bei Seite legt, den Boden mit Ackerwerkzeugen bearbeitet, mit entsprechenden Dungmaterialien versieht, den Rasen wieder auflegt und denselben anwalzt, oder dadurch, dass man die gesammte Pflanzendecke vernichtet, den Boden während eines oder mehrerer Jahre als Ackerland benutzt und dann eine neue Wiesennarbe durch Ansamung herstellt.

Ersteres Verfahren wird nur dort am Platze sein, wo die Narbe vornehmlich aus guten Wiesenpflanzen zusammengesetzt und wenig verunkrautet ist, und der Boden noch nicht bis in grössere Tiefen eine moorige Beschaffenheit angenommen hat. Entgegengesetzten Falls wird es zweckmässiger sein, die Pflanzen zu zerstören und den Boden erst nach einem vorübergehenden Anbau von Ackerpflanzen seiner früheren Bestimmung zu übergeben, zumal es bei dem Umbau mit Benützung der früheren Grasnarbe nicht möglich ist, den Boden, wie dies wünschenswerth wäre, längere Zeit der atmosphärischen Luft auszusetzen. Ueberdies sind die bei Anwendung dieses Verfahrens verursachten Kosten sehr hoch und dürften sich nur selten durch entsprechende Mehrerträge bezahlt machen.

Wo die Rasendecke wieder aufgedeckt werden soll, verfährt man am besten in folgender Weise. Das Abschälen der Grasnarbe wird mit einem gewöhnlichen Pflug oder mit einem Schälpflug bis zu 10 cm Tiefe ausgeführt. Bei unebenem Terrain werden die Pflugstreifen in Stücke von ca. 30 – 40 cm Länge mit der Hacke zerhauen; bei ebener Lage bedient man sich, um an Handarbeit zu sparen, am besten einer Messerwalze, mit welcher man quer über die Furchen fährt, oder vor dem Pflügen, rechtwinklig zu der Fortbewegungsrichtung des Pfluges, die Rasennarbe durchschneidet. Im Wesentlichen besteht das bezeichnete Instrument aus einer

hölzernen Walze, um welche die kreisrunden Messer, welche eine Höhe von 10 cm besitzen, in Abständen von 30—40 cm mit Schrauben befestigt sind. Die Walze muss recht schwer und darf nicht zu lang sein, damit die zähen Furchen möglichst gleichmässig durchschnitten werden.

Die Rasenstücke, welche man in der beschriebenen Weise erhält, werden bei Seite gelegt, alsdann wird der Wiesenboden gedüngt und mit Pflug, Exstirpator und Egge bearbeitet, hernach mit den Rasenstücken gleichmässig belegt. Um das Anwachsen letzterer zu fördern, wird schliesslich die Wiese mit einer schweren Walze überfahren.

Behufs Vereinfachung des vorstehend beschriebenen Verfahrens ist neuerdings von *Laacke* ein Pflug construirt worden[1]), mit welchem die Lockerung der bisher geschlossenen Bodenschicht in der Weise bewirkt wird, „dass zunächst mittelst zweier Messer der Rasen in Streifen geschnitten und diese durch das Schaar in beliebiger Stärke abgeschält und einem eigenartig gewölbten Streichbrett übergeben werden. Während der Rasenstreifen über die gewölbte Bahn gleitet, wird gleichzeitig die bisher geschlossene Bodenschicht unter dem Rasen durch eine unter dem gewölbten Streichbrett befindliche Messeregge aufgelockert und es legt sich dann der abgeschälte Streifen auf den gelockerten Boden in seiner ursprünglichen Lage wieder ab." Wenngleich mittelst dieses Geräthes die Arbeit wesentlich verbilligt wird, so ist dieselbe doch gegenüber der mit einem gewöhnlichen Pflug in der oben angegebenen Weise ausgeführten ungleich weniger durchgreifend, weshalb auch die mittelst derselben erzielten Erfolge denjenigen bedeutend nachstehen dürften, welche mit einer gründlicheren Lockerung des Wiesenbodens verknüpft sind.

Bei stärkerer Vertorfung des Wiesenbodens reicht das angegebene Verfahren nicht aus, um eine durchgreifende Verbesserung der Fruchtbarkeitsverhältnisse des Erdreiches herbeizuführen, weil, wie bereits angedeutet, die Zeit zu kurz ist, während welcher der Boden dem Zutritt der Luft ausgesetzt ist. In solchen Fällen wird man einen ungleich besseren Erfolg erzielen, wenn man die Narbe vollständig vernichtet und vor der Neubesamung den Boden ein oder mehrere Jahre als Ackerland benutzt. Die Beseitigung der Pflanzendecke geschieht entweder durch Verbrennen oder durch Unterbringung derselben mittelst des Pfluges.

Bei ersterem Verfahren wird der Boden im Frühjahr oder im Herbst 10—15 cm tief, je nach der Mächtigkeit der Torfschicht, aufgepflügt. Bei trockener Witterung kann das, was im Herbst umgebrochen wurde, im Mai, das, was im Frühjahr gewendet wurde, im Herbst (August oder September) gebrannt werden. Man versetzt die trockene Narbe in der Weise in Brand, dass man die Schollen auf der dem Winde entgegengesetzten Seite anzündet und hierauf, dem letzteren entgegenschreitend, die brennende Erde fortwährend umherschleudert. Nach ungefähr 16—24 Stunden ist die gewendete Rasenschicht vollständig in Asche verwandelt. Ist die Witterung der Trocknung der Schollen ungünstig, so zerschneidet man dieselben in der oben angegebenen Weise in Stücke und setzt je zwei derselben dachförmig gegeneinander, um sie dadurch mit einer grösseren Oberfläche der Luft auszusetzen und zum schnelleren Abtrocknen zu bringen. Bei nassem Wetter ist man dagegen

[1]) *W. Strecker*. Deutsche landwirthschaftliche Presse. 1896. Nr. 19. — Der *Laacke*'sche Wiesenculturpflug wird von der Fabrik Gross & Comp. in Leipzig-Eutritzsch angefertigt.

genöthigt, die Rasenstücke in kleine Haufen zusammenzuwerfen und dieselben erst nach erfolgter Austrocknung zu brennen. Um das Umsichgreifen des Feuers in grössere Tiefen der Torfschicht zu verhindern, empfiehlt es sich, die Entwässerungsgräben mit Wasser zu füllen und den Boden auf diese Weise zu durchfeuchten.

Während bei Anwendung der vorstehend beschriebenen Verfahren die organischen Substanzen vollständig zerstört werden und nur die unverbrennlichen Mineralstoffe als Asche zurückbleiben, werden bei dem Brennen in Haufen jene Bestandtheile und die bei dieser Procedur sich bildenden gasförmigen Körper, besonders das Ammoniak theilweise erhalten. In dieser Beziehung dürfte das Brennen (oder vielmehr das Rösten) der Rasenstücke in Haufen vergleichsweise grössere Vortheile gewähren, zumal dadurch der beabsichtigte Zweck, die Pflanzen zu zerstören, gleichzeitig erreicht wird.

Bei Ausführung letzterer Methode werden aus den abgetrockneten Rasenstücken in Form eines Bienenkorbes Haufen errichtet, die 1 m hoch sind und 1 m im Durchmesser halten. Der im Innern befindliche Hohlraum wird durch ein am Boden auf der Windseite angebrachtes kleines Zugloch mit der Aussenluft verbunden. Ehe man den Haufen vollendet, bringt man das Brennmaterial (Reisholz, Haidekraut, Stroh u. s. w.) hinein, und lässt zuletzt in der Decke des weiterhin fertig gebauten Haufens ein kleines Luftloch. Die Rasenstücke dürfen nicht zu fest aufeinandergepackt werden; feuchte Rasenstücke lässt man liegen, um dieselben, nachdem der Haufen angezündet ist, auf diesen zu werfen und damit gleichzeitig das Feuer zu reguliren. Die in der bezeichneten Weise errichteten Haufen werden mittelst des im Zugloch befindlichen Strohes angezündet. Sobald das im Innern vorhandene Material sich in vollem Brande befindet, wird das obere Luftloch bis auf eine kleine Oeffnung mit Rasen zugedeckt, um die Flamme zu zwingen, durch die Lücken zwischen den Rasenstücken zu dringen und dadurch letztere in Brand zu setzen. Sollte die Flamme an irgend einer Stelle zu stark hervorbrechen, so bedeckt man dieselbe sofort mit einem noch an der Erde liegenden Rasenstück. Ueberhaupt hat man darauf zu sehen, dass die Haufen nicht zu schnell brennen, sondern nur ganz allmählich verglimmen. Die Haufen werden schliesslich, soweit sie nicht von selbst eingefallen sind, zusammengestossen, worauf man die noch an der Erde liegenden Rasenstücke über die Brandstelle deckt, damit dieselben noch geröstet oder verkohlt werden.

Die bei dem Brennen nach der einen oder anderen Methode gewonnene Asche resp. die verkohlten oder gerösteten Pflanzenreste werden gleichmässig über die Fläche vertheilt und mit dem Pflug flach untergebracht. Damit die Asche dem Boden sofort einverleibt werden könne, werden die Haufen in Reihen aufgestellt und von diesen nur so viele in Brand gesteckt, dass man die entstehenden Rückstände bis zum Abend des betreffenden Tages vollständig unterbringen kann. Nachdem das Feld nach einigen Tagen geeggt worden ist, wird es weiterhin bis zur vollen Tiefe umgepflügt und alsdann mit Hackfrüchten (Rüben oder Kartoffeln) bestellt. Der Anbau dieser Gewächse empfiehlt sich aus dem Grunde, als durch die öftere Bearbeitung, welche dieselben während ihrer Vegetation erfordern, der Boden mit einer möglichst grossen Oberfläche der atmosphärischen Luft ausgesetzt wird. Bei starker Vertorfung des Bodens wird der Ackerbau noch im folgenden, unter Umständen noch im dritten Jahre mit Wickfutter, Hafer, Erbsen, Wicken u. s. w. fortgesetzt, ehe,

nach vorangegangener Düngung, zur Neubesamung der Fläche mit passenden Gräsern und Futterkräutern geschritten wird.

Unter weniger ungünstigen Bodenzuständen, d. h. bei geringerer Ausbildung des moorigen Charakters des Wiesenlandes wird eine so weitgehende Veränderung des letzteren, wie solche durch das Brennen eines Theiles des Bodens herbeigeführt wird, nicht erforderlich sein, vielmehr wird es unter solchen Umständen genügen, wenn man den Boden einige Jahre zum Anbau von Ackerpflanzen benutzt. Die solcher Cultur vorausgehende Zerstörung der Wiesennarbe wird hier in der Weise bewirkt, dass man die Rasenschicht flach abschält, etwa 3—4 cm stark, die abgeschälte Schicht durch öfteres scharfes Eggen zerkleinert und zum Abtrocknen bringt, und, nachdem dies geschehen, den Boden mittelst eines mit einem Vorschaar versehenen Pfluges tief umpflügt. Im Uebrigen ist das in dieser Weise behandelte Land nach denselben Grundsätzen zu cultiviren, welche für das gebrannte oben aufgestellt wurden. Besonders wird man den Anbau von Hackfrüchten aus den angeführten Gründen in das Auge zu fassen haben.

Die hier empfohlenen Maassregeln decken sich vollständig mit jenen, welche bei den sogen. *„Wechselwiesen“* in Anwendung gebracht werden. In Rücksicht auf die Vortheile, welche dieses System gewährt, muss die Thatsache, dass dasselbe sehr selten in der Praxis benützt wird, in hohem Grade befremden. Die gegenwärtige Cultur der Wiesen, bei welcher der Boden permanent der Futtererzeugung dient, ist insofern eine irrationelle, als in Folge von Luftmangel in Verbindung mit niedriger Temperatur eine Anhäufung von organischen Stoffen stattfindet, welche der Fruchtbarkeit dieser für den Wirthschaftsbetrieb wichtigen Culturflächen in ganz bedeutendem Grade direct und indirect Abbruch thut. Da die gewöhnlich in Anwendung gebrachten Maassregeln (Entwässerung, Kalken, Düngen) sich erfahrungsmässig als unzureichend erwiesen haben, die geschilderte ungünstige Beschaffenheit des Wiesenlandes zu beseitigen, so wäre es wohl an der Zeit, mit dem bisherigen System zu brechen und ein anderes geeigneteres an dessen Stelle zu setzen. Von allen hierbei in Betracht kommenden Verfahren bietet unstreitig dasjenige die grössten Vortheile, bei welchem ein Wechsel des Wiesenbaues mit einem kurz andauernden Ackerbau, je nach der Beschaffenheit des Bodens in längeren oder kürzeren Zeitintervallen stattfindet. Ausgeschlossen hiervon sind freilich diejenigen Wiesen, welche regelmässig wiederkehrenden Ueberschwemmungen ausgesetzt sind. Alle übrigen, wohl die Mehrzahl bildenden Wiesenflächen sollten aber nach dem in Vorschlag gebrachten Verfahren behandelt werden, weil es nur mit Hilfe desselben möglich ist, dem Boden ein Maximum des Ertrages abzugewinnen.

b) Die Moorböden.

Naturgemäss wird bei der Urbarmachung, d. h. bei der Ueberführung der Moore in Culturländereien, wie bei allen Unternehmungen dieser Art nur dann ein den aufgewendeten Mitteln entsprechender Erfolg erzielt werden können, wenn die einschlägigen Verfahren denjenigen Eigenschaften des Bodens angepasst werden, welche dem sicheren Gedeihen der Nutzgewächse hinderlich sind. Indem die Moore in dieser Richtung grosse Unterschiede aufweisen, werden die unter concreten Verhältnissen in Anwendung zu bringenden Operationen, soll das Gelingen derselben im Voraus sicher gestellt werden, nicht nach einem generellen, sondern nach einem

specialisirten Plan ausgeführt werden müssen. Ausserdem wird man nicht umhin können, überdies auf die Absatzverhältnisse Rücksicht zu nehmen, weil diese bei der Wahl der Culturmethode gleichergestalt ausschlaggebend sind.

Die Ursachen der geringen Fruchtbarkeit des Moorbodens in Bezug auf das Wachsthum der landwirthschaftlichen Nutzpflanzen sind sowohl in verschiedenen physikalischen als auch in gewissen chemischen Eigenschaften desselben zu suchen (S. 214 und 235).

Von den ungünstigen ***physikalischen Eigenschaften*** käme zunächst das Verhalten der in Rede stehenden Böden dem Wasser gegenüber in Betracht. Dieselben übertreffen in Bezug auf das Wasseraufspeicherungsvermögen alle übrigen Bodenarten (S. 244). Dieser Umstand trägt zwar mit dazu bei, dass sich im Moorboden unter Umständen grössere Ansammlungen von Wasser bilden, er ist aber nicht, wie vielfach angenommen wird, die Hauptursache der Nässe in denselben, wie aus der Thatsache geschlossen werden muss, dass Böden dieser Art eine dem Pflanzenwachsthum schädliche Austrocknung erfahren, sobald dieselben einer kräftigen, bis auf grössere Tiefen sich erstreckenden Entwässerung unterzogen werden. Die Nässe wird vielmehr vornehmlich entweder durch Undurchlässigkeit der unter dem Moore lagernden Bodenschichten oder durch seitliche Zuflüsse hervorgerufen (S. 206 und 207). Dieselbe ist der Cultivirung des Moores, wie auch derjenigen jeder anderen Bodenart hinderlich, indem sie den Zutritt der Luft zum Boden abhält, die Zersetzung der organischen Substanzen hemmt und zur Bildung von Stoffen Veranlassung giebt, welche das Pflanzenwachsthum schädigen.

Weiters üben die starken Volumveränderungen des Moorbodens bei wechselnder Anfeuchtung und Austrocknung, namentlich bei dem Gefrieren und Aufthauen desselben im Winter einen ungünstigen Einfluss auf die Pflanzen aus, weil in Folge dieser Vorgänge letztere mit ihren Wurzeln allmählich aus dem Erdreich über die Oberfläche desselben gehoben werden, eine Erscheinung, welche man mit „Aufziehen" und „Auffrieren" der Saaten bezeichnet. Die hierdurch bedingten Schädigungen bestehen darin, dass die Pflanzen des festen Haltes im Boden nach und nach verlustig gehen und dem Lagern unterliegen, oder dass sie, wie bei dem Auffrieren, in ihrer Existenz gefährdet werden. Aus letzterem Grunde ist der Anbau der Winterfrüchte auf unverändertem Moorboden in der Mehrzahl der Fälle ausgeschlossen.

Auch in ihrem Verhalten zur Wärme besitzen die Moorböden dem Pflanzenwachsthum gegenüber eine ungünstige Beschaffenheit. Besonders sind es die Nachtfröste im Frühjahr (Spätfröste), welche, häufiger und später als auf mineralischen Bodenarten auftretend, vielfach grossen Schaden anrichten (S. 269). Gegen niedrige Temperaturen empfindliche Gewächse sind daher auf Moorland leicht in ihrer Existenz gefährdet. Bei steigender Temperatur zeigt das Moor im Vergleich zu anderen Böden eine schwächere Erwärmung, nicht allein wegen des durch stärkere Verdunstung bedingten Wärmeverbrauchs, sondern auch wegen geringer Leitungsfähigkeit (S. 264). Letztere ist auch die Ursache des langsamen Aufthauens des Moorbodens im Frühjahr, allerdings aber auch der Wärmeaufspeicherung bei sinkender Temperatur. Nur in letzterer Beziehung sind die Wärmeverhältnisse des Moores hinsichtlich des Pflanzenwachsthumes als günstig zu bezeichnen.

Von den ***chemischen Eigenschaften*** des Moores sind namentlich der Gehalt an Nährstoffen und die Zersetzungsfähigkeit der Masse in Betracht zu ziehen. Wie S. 225 nachgewiesen wurde, sind die Moore durch Armuth an Kali ausgezeichnet, im Uebrigen aber mit verschiedenen Mengen von Pflanzennährstoffen dotirt, je nach ihrer Entstehungsweise. Die Hochmoore besitzen zwar im Allgemeinen eine gleichmässigere Zusammensetzung als die Grünlandsmoore; sie sind aber beträchtlich ärmer an den für die Ernährung wichtigsten Bestandtheilen, wie Stickstoff, Kalk und Phosphorsäure. Dazu kommt, dass die Zersetzung der organischen Stoffe, durch welche erst die in denselben enthaltenen Nährstoffe in den assimilirbaren Zustand übergehen, in den Hochmooren sehr viel träger von Statten geht als in den Grünlandsmooren.

Zuweilen enthalten die Moore auch Bestandtheile, die an sich zwar unschädlich sind, nach erfolgter Entwässerung aber in solche Verbindungen übergehen, welche das Pflanzenwachsthum in nachtheiliger Weise beeinflussen. Es gilt dies besonders von dem Schwefelkies ($Fe\,S_2$), welcher, so unschädlich er auch an sich ist, so verhängnissvoll werden kann, wenn er mit Luft in Berührung kommt, weil er sich unter solchen Umständen in schwefelsaures Eisenoxydul und Schwefelsäure verwandelt, zwei Stoffe, welche bei der Menge, in der sie bisweilen vorkommen, jede Vegetation vernichten.

Aus diesen kurzen Darlegungen folgt ohne Weiteres, dass bei der Cultur der Moorländereien auf eine Verbesserung sowohl der physikalischen als auch der chemischen Eigenschaften derselben wird Bedacht genommen werden müssen.

Jeder anderweitigen Melioration hat offenbar unter allen Umständen eine Entwässerung des Landes vorauszugehen, weil der nasse Zustand, in welchem es sich befindet, die nächste Ursache seiner Unfruchtbarkeit ist. Wie bei keiner anderen Bodenart bietet die Entwässerung so grosse Schwierigkeiten und erfordert eine solche Sorgfalt wie gerade auf den Moorböden. Begreiflich wird dies, wenn man zunächst in Betracht zieht, dass bei der üblichen schablonenmässigen Tieferlegung des Wasserspiegels durch Gräben oder unterirdische Abzüge dem Boden leicht so grosse Wassermengen entzogen werden, dass er in der Folge an Wassermangel leidet, demgemäss also eine Beschaffenheit annimmt, welche gleichergestalt wie die Nässe ihn zur Hervorbringung von Maximalernten ungeeignet macht. Die Ursache der Austrocknung unter den bezeichneten Verhältnissen ist hauptsächlich in dem ausserordentlichen Verdunstungsvermögen der Moormasse zu suchen (S. 250). Bei anhaltender Trockenheit kann die Verminderung des Wasservorrathes in einem solchen Umfange erfolgen, dass die Pflanzen aus Wassermangel zu Grunde gehen. Ist aber erst ein derartiger Zustand eingetreten, so ist der Boden auf lange Zeit hinaus ruinirt, weil derselbe, einmal ausgetrocknet, sich wegen Unbenetzbarkeit der Moorsubstanz entweder gar nicht oder nur mit den grössten Schwierigkeiten wieder anfeuchten lässt. Aus diesen Gründen wird die Entwässerung in der Weise auszuführen sein, dass die Vegetation unter allen Umständen mit einem Wasservorrath versehen wird, wie solcher zur Erzielung von Maximalernten sich erforderlich erweist. Es wird daher sowohl die richtige Tieflage des Grundwasserspiegels als auch die Möglichkeit, denselben reguliren zu können, nach Maassgabe des Wasserbedürfnisses der Nutzgewächse, sowie der klimatischen Verhältnisse bei der Entwässerung der Moorländereien ganz besonders in das Auge zu fassen sein. Im Allgemeinen

wird nur in dem Falle ein hoher Ertrag erwartet werden können, wenn sich die Moormasse stets in einem gut durchfeuchteten Zustande befindet, weil, ganz abgesehen von den besonderen Ansprüchen der verschiedenen Culturen an den Feuchtigkeitsvorrath, der Moorboden grössere Wassermengen enthalten muss, um die Pflanzen zu normaler Entwickelung zu bringen, als jede andere Bodenart (S. 253).

Sind Zahlen beliebt, so wird man sagen können, dass es je nach den Niederschlagsmengen genügt, wenn der Wasserstand bei Wiesen 0,5—0,7 m, bei Ackerland 0,8—1,0 m unter der Oberfläche gehalten wird. Im Uebrigen wird dafür Sorge getragen werden müssen, die Entwässerungsvorrichtungen so einzurichten, dass die Functionen derselben aufgehoben werden können in Zeiten, in welchen der Eintritt einer Trockenperiode zu befürchten ist oder überhaupt ein An- resp. Einstau des Wassers sich als erforderlich erweist. In einfacher Weise lässt sich dies durch Anbringung von Stauvorrichtungen an geeigneten Stellen des Entwässerungssystems bewirken.

In Rücksicht auf die flache Lage der Moorländereien wird die Entwässerung am besten mittelst Gräben ausgeführt, welche in Abständen von 20—30 m auf den Niederungsmooren, dagegen auf den wasserreicheren Hochmooren in solchen von 10—15, höchstens von 20 m gezogen werden. Die Tiefe richtet sich nach dem Stande, welchen der Grundwasserspiegel nach der Entwässerung erhalten soll, resp. nach der Tieflage des Mineralbodens im Untergrunde in denjenigen Fällen, wo dieser zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Moores verwendet wird.

Behufs Beseitigung der sonstigen ungünstigen Zustände des Moorbodens in physikalischer Hinsicht hat man zwei Verfahren in Anwendung gebracht, von denen das eine darin besteht, dass man das Moor mit dem bei Anfertigung der Entwässerungsgräben gewonnenen Sand überfährt und diesen mit dem Moor mischt (Mischverfahren), während bei der anderen, zuerst von *Rimpau* in Cunrau vorgeschlagenen und mit grossem Erfolg benutzten Methode das Land mit einer 10—12 cm starken Sandschicht bedeckt wird, welche, ohne jemals mit dem darunter liegenden Boden gemischt zu werden, als solche erhalten bleibt (Deckverfahren).

Für die Beurtheilung der Vorzüge des einen oder anderen Verfahrens ist es natürlich zunächst von grossem Interesse, zu wissen, in welchem Grade dieselben geeignet sind, eine Verbesserung des Moorbodens zu bewirken. Versuche, welche hierüber Aufschluss zu geben geeignet sind, hat *M. Fleischer*[1]) und nach ihm der Verfasser[2]) angestellt. Dieselben erstreckten sich auf die Abänderungen, welche die Feuchtigkeits- und Wärmeverhältnisse des Moorbodens unter dem Einfluss der Mischung und der Bedeckung desselben mit Sand erfahren.

In den Versuchen des Verfassers wurden zur Feststellung der Feuchtigkeitsverhältnisse der in verschiedener Weise behandelten Böden Lysimeter von 30 cm Höhe und 400 qcm Querschnitt verwendet; dieselben wurden, seitlich geschützt, im Freien aufgestellt und jede Woche gewogen. Da das Gewicht des lufttrockenen Materials in den Gefässen bekannt war, und gleichzeitig die Sickerwasser- und Niederschlagsmengen gemessen wurden, so konnte aus den jeweils gewonnenen Daten

[1]) *M. Fleischer.* Landwirthschaftliche Jahrbücher. Von *H. Thiel.* Bd. XX. 1891. S. 771—804. — Vergl. ferner: *F. Seyfert.* Ebenda. S. 854—871.

[2]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVII. 1894. S. 229.

sowohl die absolute Wassermenge in den Versuchsböden als auch die von einer Wägung zur anderen stattgehabte Verdunstung leicht berechnet werden. Im Durchschnitt enthielten die Böden während des Sommerhalbjahres (1. April bis 30. Sept.) unter sonst gleichen Verhältnissen folgenden absoluten Wassergehalt in gr:

Jahr.	Hochmoorboden.			Niederungsmoorboden.		
	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10 cm hoch bedeckt.	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10 cm hoch bedeckt.
1892	5495	4885	5599	5537	4619	5328
1893	4834	4205	5695	4740	3778	5160
Mittel:	**5164**	**4545**	**5647**	**5139**	**4199**	**5244**
Relatives Verhältniss:	100	88,0	109,4	100	81,7	102,4

Aus diesen Zahlen würde sich zunächst ergeben, dass der mit Sand bedeckte Boden die grössten Wassermengen einschliesst, dass dann das unveränderte Moor folgt, während der mit Sand gemischte Moorboden den geringsten Feuchtigkeitsgehalt besitzt.

Diese Unterschiede machen sich jedoch nur im Durchschnitt geltend und erfahren je nach den Witterungsverhältnissen mannigfache Modificationen, die sich nach den Einzelbeobachtungen, deren Wiedergabe an dieser Stelle zu weit führen würde, dahin zusammenfassen lassen, dass während trockener Witterung das unbedeckte Moor sich in seinen Feuchtigkeitsverhältnissen dem mit Sand gemischten nähert, unter Umständen sogar einen geringeren Wassergehalt besitzt als letzteres, wohingegen bei sehr niederschlagsreicher und kühler Witterung der unbesandete Moorboden die grössten Wassermengen aufnimmt und in Bezug auf seinen Wassergehalt den mit Sand gemischten und den mit einer 10 cm starken Sanddecke versehenen Boden bedeutend übertrifft. Hieraus wird gefolgert werden müssen, dass die Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit in dem unveränderten Moorboden bedeutend grösser sind als in dem mit Sand gemischten und in diesem wieder beträchtlicher als in dem 10 cm hoch mit Sand bedeckten Boden.

Um einen Einblick in die Ursachen der vorstehend geschilderten Gesetzmässigkeiten zu gewinnen, wird es vorerst nothwendig sein, das sonstige Verhalten des Bodens zum Wasser näher in das Auge zu fassen. Da der Wassergehalt eines jeden Bodens unter natürlichen Verhältnissen bei gleicher Grösse der atmosphärischen Niederschläge, abgesehen von der Wassercapacität, von der Abgabe des Wassers an der Oberfläche und in die Tiefe, d. h. von der Verdunstung und von der Absickerung wesentlich beherrscht wird, so werden diese Momente besonders in Betracht zu ziehen sein.

Die Absickerung erfolgte nun in den angezogenen Versuchen, wie nachstehende Zahlen darthun:

Jahr.	Niederschlagsmenge gr.	Sickerwassermenge in gr.					
		Hochmoorboden.			Niederungsmoorboden.		
		Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10cm hoch bedeckt.	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10cm hoch bedeckt.
1892	27338	6099	10763	13998	10194	14902	16464
1893	20286	2911	5579	10020	5421	7314	11611
Mittel:	23812	**4505**	**8171**	**12009**	**7808**	**11108**	**14038**
Relatives Verhältniss:	—	100	181,4	266,5	100	142,3	179,8

Diese Zahlen vermitteln die Thatsache, dass unter sonst gleichen Verhältnissen aus dem unbesandeten Moor die geringsten Wassermengen unterirdisch abgeführt werden, beträchtlich grössere aus dem in den obersten Schichten mit Sand gemischten Moor, dass aber die grössten Sickerwassermengen von dem mit Sand bedeckten Moorboden geliefert werden.

Es erübrigt nunmehr die Verdunstungsmengen in Betracht zu ziehen, welche, wie folgt, berechnet wurden:

Jahr.	Niederschlagsmenge gr.	Verdunstungsmenge in gr.					
		Hochmoorboden.			Niederungsmoorboden.		
		Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10cm hoch bedeckt.	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10cm hoch bedeckt.
1892	27338	20 555	15474	11731	16057	11406	8924
1893	20286	15325	12877	9526	12995	11812	7935
Mittel:	23812	**17940**	**14176**	**10630**	**14526**	**11609**	**8430**
Relatives Verhältniss:	—	100	78,9	59,3	100	79,9	58,0

Aus diesen Daten lässt sich die Schlussfolgerung ableiten, dass von dem unveränderten Moor die grössten Wassermengen verdunstet werden, dann folgt in absteigender Reihe das mit Sand oberflächlich gemischte, während das mit einer Sanddecke versehene Moor die geringsten Feuchtigkeitsmengen an die Atmosphäre abgiebt.

Hinsichtlich der Ursachen der vorstehend charakterisirten Erscheinungen wäre zunächst die Wassercapacität der Böden in Betracht zu ziehen. Offenbar besitzt unter vorliegenden Verhältnissen das unveränderte Moor eine grössere Wassercapacität als das besandete, weil die Moormasse bei letzterem kleiner und an Stelle eines Theiles derselben der wenig Wasser fassende Sand gesetzt ist. Von den besandeten Moorböden hat der mit Sand bedeckte ein grösseres Aufspeicherungsvermögen als der mit Sand gemischte, weil bei jenem die unter der Sanddecke befindliche Moorschicht in vorliegendem Fall mächtiger ist (20 cm) als bei diesem (10 cm) und der dadurch bedingte Unterschied in dem Wasseraufspeicherungsvermögen der

ganzen Bodenschicht durch die im Vergleich zum Sande höhere Wassercapacität des Sand-Moorgemisches nicht ausgeglichen wird. Dass in der That der in einer Mächtigkeit von 20 cm in den oberen Partien mit Sand gemischte Moorboden nicht so viel Wasser aufzunehmen vermochte als der 10 cm hoch mit Sand bedeckte, weisen unter anderen die Zahlen nach, welche am 8. September 1892 bei einem vorangegangenen Regenfall von 128,6 mm bezüglich der absoluten Wassermengen in den Böden ermittelt wurden:

	Unbedeckt.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand bedeckt.
Hochmoorboden	6444	5401	6062
Niederungsmoorboden	6141	4938	5829.

Während sich nun in solchen niederschlagsreichen Perioden die Böden entsprechend ihrer Wassercapacität sättigen, so dass das unbesandete Moor die grössten, das mit Sand gemischte den geringsten und das mit Sand bedeckte einen vergleichsweise mittleren Wassergehalt aufweist, ändern sich diese Unterschiede sofort, wenn eine trockene niederschlagsarme und überhaupt eine der Verdunstung Vorschub leistende Periode eintritt. Unter derartigen Umständen sinkt der Wassergehalt des unveränderten Moores in enormem Grade, weil dasselbe unter den verwendeten Bodenarten mit dem grössten Verdunstungsvermögen ausgestattet ist (S. 250). Folge hiervon ist eine weitgehende Verminderung des Wasservorrathes, die bedingt, dass letzterer tief unter jenen des mit einer Sanddecke versehenen Bodens herabgeht. In allen solchen Fällen ist letzterer der feuchteste und zwar weil in demselben die Verdunstung in einem ausserordentlichen Maasse beschränkt ist. Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass der Sand bei eintretender trockener Witterung sehr schnell abtrocknet und dass sich in Folge dessen auf der Oberfläche des Materials eine mehr oder minder mächtige Schicht trockenen Bodens bildet, welche den Einfluss der Verdunstungsfactoren auf die unter ihr liegenden feuchten Schichten wesentlich herabdrückt (S. 250). Selbst wenn die gesammte Sanddecke ausgetrocknet wird, bleibt die Feuchtigkeit in dem Moorboden erhalten, weil ein Uebertritt derselben in den Sand nicht stattfindet.[1]) Bei dem mit Sand gemischten Boden walten zwar ähnliche Verhältnisse ob, aber die Sandmoorschicht besitzt eine bessere capillare Leitung und verdunstet deshalb mehr Wasser als der Sand, wenngleich sie in dieser Beziehung hinter dem reinen Moor zurückbleibt.

In dem Betracht, dass die unterirdische Wasserabfuhr erst dann in die Erscheinung tritt, wenn der Boden durch den Regen vollständig durchfeuchtet ist, kann es nicht Wunder nehmen, dass die Sickerwassermengen in einem umgekehrten Verhältniss zu den aufgespeicherten und zu den durch Verdunstung verloren gegangenen Wassermengen stehen. Je grösser die Wassercapacität und das Verdunstungsvermögen sind, um so weniger Wasser wird unterirdisch abgeführt und umgekehrt. Deshalb liefert das reine Moor unter allen Versuchsmaterialien die geringste Sickerwassermenge. Bei den besandeten Böden stehen aufgespeicherte und verdunstete Wassermengen nicht in demselben Verhältniss zu einander wie im unveränderten Moor. Wäre nämlich erstere allein ausschlaggebend, dann müsste das mit Sand gemischte Moor mehr Wasser durch Absickerung verlieren als das mit Sand

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VIII. 1885. S. 211.

bedeckte. Dies ist aber gerade umgekehrt der Fall, woraus zu schliessen ist, dass für die unterirdische Wasserabfuhr hauptsächlich die Verdunstung maassgebend ist. Dadurch, dass das mit Sand gemischte Moor beträchtlich mehr verdunstet als das mit Sand bedeckte, wird bei jenem ein grösserer Theil der Niederschläge zur Wiederanfeuchtung des Bodens benöthigt und der Drainage entzogen als bei diesem.

Gegenüber dem etwa zu erhebenden Einwande, dass in diesen Versuchen die Bodenschicht eine zu geringe Mächtigkeit (30 cm) besessen hätte und deshalb die Ergebnisse nicht auf die Verhältnisse im Grossen übertragen werden könnten, sei bemerkt, dass ohne Zweifel die Fruchtbarkeitsverhältnisse der oberen Schichten, in welchen die Pflanzen vornehmlich ihre Wurzeln ausbreiten, für die Culturen sich belangreich erweisen, sowie ferner, dass die sich geltend machenden Unterschiede in dem Wassergehalt der Bodenmasse vor Allem in den oberen Schichten in die Erscheinung treten, während die tieferen durch die verschiedene Behandlung des Bodens in den oberen Partien entweder gar nicht oder nur in einem geringen Umfang beeinflusst werden. Für letztere Anschauung spricht übrigens die von *M. Fleischer* festgestellte Thatsache, dass in den unteren und auch in den mittleren Schichten der in verschiedener Weise oberflächlich zubereiteten Moorböden keine oder doch keine wesentlichen Differenzen in den aufgespeicherten Wassermengen sich nachweisen lassen.

Dass auch die bei einer 30 cm starken, unten aus Moor und oben aus Sand oder Sandmoorgemisch bestehenden Bodenschicht ermittelten Feuchtigkeitsverhältnisse noch nicht allein für die Beurtheilung der Brauchbarkeit der betreffenden Methoden ausschlaggebend sein können, ergiebt sich deutlich aus dem Umstande, dass die unter solchen Verhältnissen gefundenen Unterschiede keineswegs Giltigkeit haben, für jene, welche in den zu Tage tretenden, für die erste Entwickelung der Pflanzen maassgebenden Bodenpartien obwalten. Zieht man nämlich nur die oberste, 10 cm starke Schicht in Betracht, so ist nach den S. 251 gegebenen Darlegungen unzweifelhaft als feststehend zu betrachten, dass das unveränderte Moor die grössten Wassermengen enthält, dass dann das Sandmoorgemisch folgt, während der Sand den geringsten Feuchtigkeitsgehalt besitzt. Die Wassermengen in der oberen Schicht sind demnach in anderer Weise vertheilt als in dem Fall, wo eine mächtigere, unten aus reinem Moor bestehende Bodensäule in Betracht gezogen wird. Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass unter letzteren Verhältnissen ausser den durch die physikalische Beschaffenheit der Masse bedingten Wirkungen noch jene hinzutreten, welche durch die Bodendecke hervorgerufen werden.

Bei den Bestimmungen der Bodentemperatur wurden 42 cm hohe, aus starken Brettern hergestellte, unten offene und bis 2 cm vom Rande in den Boden versenkte Holzkästen von 1 qm Querschnitt mit einer 40 cm mächtigen Schicht der betreffenden Böden beschickt, wobei diese auf dem aus Glacialschotter bestehenden und deshalb vollständig durchlassenden Untergrund auflagerten. Die Ablesungen der Temperatur erfolgten täglich früh um 7 Uhr und Nachmittags um 5 Uhr an, in $^1/_{10}$ Grade eingetheilten Thermometern, deren Kugel sich 15 resp. 20 und 25 cm unter der Oberfläche befand. Die bei einem Niederungsmoorboden gewonnenen Monatsmittel sind aus folgender Tabelle ersichtlich:

Monat 1890.	Lufttemperatur.	Bodentemperatur °C. In 15 cm Tiefe.			In 20 cm Tiefe.			In 25 cm Tiefe.		
		Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10 cm hoch bedeckt.	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10 cm hoch bedeckt.	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10 cm hoch bedeckt.
April	7,24	9,13	9,63	9,27	8,79	9,33	8,59	8,64	8,63	8,18
Mai	13,62	15,32	16,49	16,23	14,62	16,00	14,96	14,03	14,75	14,00
Juni	14,08	16,31	17,37	16,93	15,83	17,01	16,05	15,32	16,28	15,48
Juli	16,38	18,08	18,65	18,59	17,58	18,45	17,60	17,05	18,08	17,00
August	17,44	19,42	19,59	19,52	19,21	19,55	18,81	18,91	20,12	18,51
September	12,02	13,67	13,95	13,87	13,55	14,36	13,30	13,43	15,38	13,24
Mittel	**13,32**	**15,36**	**15,98**	**15,77**	**14,97**	**15,82**	**14,92**	**14,53**	**15,81**	**14,43**
		Durchschnittliche Schwankungen der Bodentemperatur.								
—	—	3,62	8,56	9,86	2,40	5,55	4,63	1,94	2,92	2,29

Aus diesen Daten lässt sich erkennen,

1. dass die Temperatur des Moorbodens während der Vegetationszeit durch die Bedeckung oder Mischung mit Sand eine nicht unbeträchtliche Steigerung erfährt, und zwar im letzteren Fall in einem höheren Grade als im ersteren;

2. dass die Wirkungen der Bedeckung und der Mischung mit Sand auf die Erwärmung des Moorbodens mit der Tiefe abnehmen, und zwar im ersteren Fall mehr als im letzteren;

3. dass die Schwankungen der Temperatur des besandeten Moorbodens bedeutend grösser sind als die des unveränderten.

Im Uebrigen stellte sich unter Berücksichtigung der Pentadenmittel, welche, an dieser Stelle wiederzugeben, zu viel Raum in Anspruch nehmen würde, heraus, dass bei länger andauerndem Sinken der Temperatur sich die Wärmeverhältnisse des verschieden behandelten Moorbodens umgekehrt, wie ad 1 angegeben, gestalten, d. h., dass unter solchen Umständen der unveränderte Moorboden wärmer ist als der besandete.

Zur Erklärung der geschilderten Gesetzmässigkeiten ist vor allem das thermische Verhalten der hier in Betracht kommenden Bodenarten (Moor- und Quarzsandboden) in das Auge zu fassen.

Der Moorboden erwärmt sich unter dem Einflusse der Insolation wegen seiner dunklen Farbe zwar an der Oberfläche stärker als der hellgefärbte Quarzsand, aber in den tieferen Schichten schwächer als dieser, wegen seiner durch den grösseren Wassergehalt bedingten höheren Wärmecapacität (S. 263), sowie in Folge seiner geringen Wärmeleitungsfähigkeit (S. 263). Bei dem Eintritt nächtlicher Strahlung verliert der Moorboden aus letzteren Gründen weniger Wärme als der Quarzsand, der unter solchen Umständen sich weit stärker abkühlt, weil er vergleichsweise eine ungleich grössere Wärmeleitungsfähigkeit und eine kleinere Wärmecapacität besitzt. Aus diesen Gründen ist die Erwärmung des Moorbodens, abgesehen von gewissen Modificationen, bei Tage und bei steigender Temperatur, sowie die Abkühlung

desselben während der Nacht und bei fallender Temperatur geringer als beim Quarzsande. Hieraus folgt, dass die Oscillationen der Bodentemperatur bei jenem ungleich kleiner sind als bei diesem.

Wird der Moorboden besandet, so muss nach Vorstehendem seine Erwärmungsfähigkeit eine Steigerung erfahren. In gleicher Weise müssen auch in diesem Falle die Schwankungen der Bodentemperatur zunehmen. Dies ist in der That der Fall, wie die mitgetheilten Daten deutlich darthun. Weniger einfach gestaltet sich die Erklärung für die in diesen Versuchen hervorgetretenen Unterschiede in der Erwärmung zwischen dem mit Sand bedeckten und mit Sand gemischten Moorboden.

Die auf dem Moorboden ruhende Sanddecke erwärmt sich zwar sehr stark unter dem Einfluss der Insolation und höheren Lufttemperatur wegen geringer Wärmecapacität (in Folge niedrigen Wassergehaltes) und guter Wärmeleitungsfähigkeit, aber die höhere Temperatur derselben kommt den darunter liegenden Moorschichten nur in einem geringen Umfange und bis zu einer verhältnissmässig unbedeutenden Tiefe zu Gute, weil der Moorboden die Wärme schlecht leitet. Bei dem oberflächlich bis zu 20 cm Tiefe gemischten Moorboden ist zwar unter sonst ganz gleichen Verhältnissen die Erwärmung der aufliegenden Bodenschicht eine geringere als bei dem Quarzsande wegen des geringeren Wärmeleitungsvermögens und der etwas grösseren Wärmecapacität, aber die Wärme wird in grössere Tiefen geleitet, weil der besser leitende Quarzsand tiefer in den Boden hinabreicht.

Die Abkühlung der Sanddecke während der insolationsfreien Zeit und bei sinkender Temperatur ist aus denselben Ursachen, welche für deren stärkere Erwärmung unter entgegengesetzten äusseren Verhältnissen maassgebend sind, relativ stärker als die des Moor-Sandgemisches, dieselbe kann sich aber, abgesehen von Nebenumständen, nicht auf so grosse Tiefen erstrecken als bei letzterem, wegen der geringen Wärmeleitungsfähigkeit der unter der Sanddecke liegenden Moorschicht.

Aus diesen Darlegungen wird ersichtlich, dass der Moorboden unter der Sanddecke während der Insolation und bei steigender Temperatur sich weniger stark erwärmt als in der correspondirenden Schicht des mit Sand gemischten Moorbodens und dass sich diese Verhältnisse im Allgemeinen umgekehrt gestalten, wenn die Insolation aufhört und die Temperatur sinkt. Die Extreme der Bodentemperatur sind daher im ersteren Fall näher aneinander gerückt, d. h. die Schwankungen sind geringer als in letzterem Fall. Hinsichtlich der Mitteltemperatur lassen die mitgetheilten Zahlen erkennen, dass das Uebergewicht, welches der mit Sand gemischte Boden gegenüber dem mit Sand bedeckten während der Insolation und bei höherer Luftwärme während der Vegetationszeit besitzt, durch dessen relativ stärkere Abkühlung während der Nacht und bei niedriger Temperatur nicht ausgeglichen wird, vielmehr innerhalb gewisser Grenzen bestehen bleibt, eine Thatsache, die sich in einfacher Weise aus dem Umstande erklärt, dass durch die Sandmischung eine grössere Bodenmasse höher temperirt wird als bei der Sandbedeckung, und dass sonach in jenem Fall eine grössere Wärmemenge während der langen Tage in der wärmeren Jahreszeit aufgespeichert wird als im letzteren.

Bei länger andauerndem Sinken der Temperatur überwiegt die Abkühlung und wird die Temperatur des Bodens um so mehr herabgemindert, je besser dessen Leitungsfähigkeit für Wärme ist. Daher sinkt unter solchen Verhältnissen die Temperatur des besandeten Moorbodens unter jene des unveränderten und bei dem mit Sand

gemischten nicht selten in stärkerem Maasse als die des mit Sand bedeckten, weil ersterer die Wärme bis in grössere Tiefen leitet als letzterer.

Nach dem Mitgetheilten lässt sich der Werth der in Rede stehenden Meliorationsverfahren, soweit hierbei der Wassergehalt und die Temperatur der Böden in Betracht kommen, für die Cultur der Moorböden ermessen.

Das Deckverfahren hat offenbar zunächst die Bedeutung, dass die Sanddecke die Schwankungen im Wassergehalt des Moorbodens bedeutend herabdrückt. Für trockene Klimate erscheint dasselbe weiters insofern besonders geeignet, als der Moorboden gegen Austrocknung im hohen Grade geschützt wird, wie besonders die Ergebnisse des Versuches aus dem Jahre 1893 darthun. In feuchten Klimaten dagegen wird unter Umständen diese Methode wegen Beschränkung der Verdunstung zur Ansammlung grösserer, dem Pflanzenwachsthum schädlicher Wassermengen Veranlassung geben können, besonders auf Hochmoorböden, welche das Wasser in bedeutendem und in einem viel höheren Grade aufzuspeichern vermögen als die Niederungsmoorböden.

Die Sandmischcultur, durch welche, wie gezeigt, der Wassergehalt in den oberen Schichten des Moores in allen Fällen eine Verminderung erfährt, wird aus diesem Grunde in trockenen Klimaten mit Nachtheilen für die Vegetation verknüpft sein, dagegen für feuchte Klimate sich um so eher eignen und zwar, wie leicht begreiflich, unter solchen Umständen besser als das Sanddeckverfahren.

In Bezug auf diese Verhältnisse ist jedoch ganz besonders zu berücksichtigen, dass die unter gewissen klimatischen Verhältnissen den beiden Meliorationsverfahren anhaftenden Mängel durch zweckmässige Ausführung der Entwässerung, wenn auch nicht vollständig, so doch in erheblichem Grade beseitigt werden können. Inwieweit dies möglich sei, wird auf Grund der die Sickerwassermengen betreffenden Beobachtungen ermessen werden können. Indem durch die Sanddecke eine stärkere Absickerung hervorgerufen wird als durch das Sandmoorgemisch, muss nothwendigerweise im ersteren Fall der Grundwasserspiegel unter übrigens gleichen Verhältnissen eine grössere Erhöhung erleiden als in letzterem und da das unveränderte Moor die geringsten Sickerwassermengen liefert, wird in diesem der Grundwasserspiegel den niedrigsten Stand einnehmen. In der That ist dies der Fall, wie folgende Beobachtungen des Verfassers zeigen, welche sich auf Böden beziehen, die bis zu einem Meter Tiefe entwässert waren:

Datum 1894.	Grundwasserstand in cm über dem Nullpunkt (in 1 cm Tiefe).					
	Hochmoorboden.			Niederungsmoorboden.		
	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10 cm hoch bedeckt.	Unverändert.	Mit Sand gemischt.	Mit Sand 10 cm hoch bedeckt.
15. Mai	6,8	10,2	14,3	13,8	15,6	21,2
15. Juni	25,3	31,3	38,8	39,7	44,8	50,2
15. Juli	30,3	40,5	56,6	53,0	63,0	70,3
15. August	48,0	64,8	74,7	76,8	91,0	105,2
15. Septbr.	49,0	65,6	79,0	31,5	83,7	86,1

Den Unzuträglichkeiten, welche durch die verschiedenen Culturmethoden in dem Feuchtigkeitsgehalt der Moorböden unter gewissen Umständen (feuchtes oder trockenes Klima) hervorgerufen werden, wird demnach begegnet werden können, wenn man je nach Bedürfniss durch die Entwässerungsmethoden den Wasserspiegel im Untergrunde innerhalb gewisser Grenzen so verlegt, dass er bei dem mit Sand bedeckten Moor am tiefsten, bei dem unveränderten Moore am höchsten steht und bei dem mit Sand gemischten einen mittleren Stand einnimmt.

Im Uebrigen wird bei dem Mischverfahren der demselben für trockene Klimate anhaftende Mangel auch dadurch behoben werden können, dass man unter solchen Verhältnissen zur Melioration des Moorbodens Bodenarten verwendet, welche das Wasser in grösseren Mengen aufzuspeichern vermögen, wie z. B. Mergel, Lehm und Thon. Der Durchführung dieses Verfahrens bieten sich allerdings insofern Schwierigkeiten dar, als solche Materialien nur sehr selten in Niederungsmoorböden vorkommen, welche in den meisten Fällen überhaupt für derartige Verbesserungen geeignet erscheinen.

Aus dem Mitgetheilten folgt, dass die verschiedenen Meliorationsverfahren zwar hinsichtlich der Beeinflussung der Bodenfeuchtigkeit nicht unwesentliche Unterschiede von einander aufzuweisen haben, dass diese aber durch besondere Vorkehrungen grösstentheils ausgeglichen werden können, derart, dass die betreffenden Methoden nach dieser Richtung als ziemlich gleichwerthig betrachtet werden können.

In Ansehung der Wärmeverhältnisse ist das Mischverfahren dem Deckverfahren entschieden überlegen, weil die Erwärmung des Bodens bei jenem im Durchschnitt eine bessere ist als bei diesem. Hinsichtlich der Beseitigung des Auftretens von Frösten im Frühjahr dürften beide Methoden einen ziemlich gleichen Werth besitzen. Wie nämlich bei einer anderen Gelegenheit gezeigt wurde (S. 269), beruht die starke Abkühlung der oberflächlichen Schichten des Moorbodens hauptsächlich auf der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit desselben und da diese durch die Sanddecke, noch mehr durch die Sandmischung eine Erhöhung erfährt, so folgt hieraus ohne Weiteres, dass mittelst dieser Culturmethoden eine Verminderung der Frostgefahr für die Pflanzen in durchgreifender Weise herbeigeführt werden muss.

Zieht man die anderweitigen Einwirkungen in Betracht, welche die beiden in Rede stehenden Verfahren auf die Fruchtbarkeitsverhältnisse des Moorbodens ausüben, so ergiebt sich, dass dieselben in manchen Beziehungen gleichwerthig, in anderen aber zu Ungunsten der Deckcultur von einander abweichend sind. Ersteres gilt von der Beseitigung der starken Volumveränderungen und der lockeren Beschaffenheit des Moorbodens, da mittelst beider Methoden in Bezug hierauf der gleiche Erfolg erzielt wird. Dagegen steht die Sanddeck- der Sandmischcultur nach hinsichtlich des Wachsthums der Pflanzen in der Jugendperiode, der Einwirkung auf die Zersetzungsprocesse im Boden und der durch die mechanische Bearbeitung herbeigeführten Fruchtbarkeitsverhältnisse.

In der ersten Entwickelungsperiode mangelt den Pflanzen in der Regel in der Sanddecke bei trockener Witterung die Feuchtigkeit, bei regenreicher die zu einem kräftigen Wachsthum erforderliche Nährstoffmenge selbst dann, wenn eine reichliche

Düngung dem Boden gegeben wurde. Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass einerseits bei dem Ausbleiben von Niederschlägen der Sand grosse Mengen von Wasser verliert und dass andererseits dieser Bodenart bei ergiebiger Wasserzufuhr, wegen grosser Durchlässigkeit und geringen Absorptionsvermögens für Pflanzennährstoffe grosse Verluste durch Auswaschung zugefügt werden. Es kann aus diesem Grunde die Thatsache nicht befremden, dass die Pflanzen, so lange nicht ein grösserer Vorrath von organischen Stoffen sich in der Sanddecke angesammelt hat, in der Jugend sich nur langsam und schwächlich entwickeln und erst dann ein kräftigeres Wachsthum zeigen, wenn die Wurzeln derselben in die unter dem Sande liegenden Moorschichten eingedrungen sind. Das aber, was die Pflanzen in ihrer ersten Entwickelungszeit in ihrem Wachsthum eingebüsst haben, können sie in späterem Alter nur unter ganz besonders günstigen äusseren Verhältnissen wieder nachholen. Unter extremen Witterungsverhältnissen gelangen gewisse Gewächse in der Sandschicht überhaupt nicht zur vollständigen Entwickelung, wie ein im Frühjahr 1892 ausgeführter Versuch des Verfassers mit Sommerraps deutlich zeigte. Die Pflanzen gingen zwar auf, starben aber späterhin bei anhaltender Trockenheit ab.

In dem oberflächlich mit Sand gemischten Boden sind die Bedingungen zu einer normalen Entwickelung ungleich günstiger gelagert, insofern als in den zu Tage tretenden Schichten nicht allein wegen vergleichsweise höherer Wassercapacität derselben reichlichere Mengen von Wasser, sondern auch grössere Mengen von Nährstoffen vorhanden sind, welche, weil die dem Sande beigemischten Humustheilchen ein starkes Absorptionsvermögen für Nährstoffe besitzen, bei Weitem nicht in dem Grade der Auswaschung unterliegen, wie in der Sanddecke. Aus diesem Grunde ist auch das anfängliche Wachsthum der Pflanzen auf dem mit Sand gemischten Moore ein besseres als auf dem mit einer Sanddecke versehenen, wie man leicht durch blossen Augenschein wahrnehmen kann. Ebenso sind die Pflanzen im ersteren Fall in höherem Grade vor den Schädigungen anhaltender Trockenheit geschützt, was auch der oben angezogene Versuch zeigte, in welchem der Sommerraps die Durstperiode überstand.

Der Umstand, dass durch die Sanddecke die atmosphärische Luft fast vollständig von dem darunter liegenden Moorboden abgeschlossen ist, zumal dieser unter dem auf ihm lastenden Druck sich verdichtet, spricht ebenfalls nicht zu Gunsten des Deckverfahrens. Die Zersetzung der organischen Stoffe wird unter derartigen Umständen in ausserordentlichem Grade gehemmt und zwar um so mehr, als gleichzeitig der Moorboden mit grösseren Wassermengen imprägnirt ist. Dieses Moment fällt besonders bei Hochmoorböden schwer ins Gewicht, weil diese an sich eine sehr geringe Zersetzungsfähigkeit und überdies eine grosse Wassercapacität besitzen. In Rücksicht hierauf erscheint das in Rede stehende Verfahren für solche Moore überhaupt nicht anwendbar.

Auch in letzteren Beziehungen bietet das Mischverfahren entschieden vor der Deckmethode grosse und in die Augen fallende Vortheile, und zwar dadurch, dass die Humustheilchen in einem viel grösseren Umfange mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommen und sich daher besser zersetzen können, und zwar nicht allein weil sie mit dem permeablen Sand gemischt sind, sondern auch deshalb, weil die oberen Bodenschichten bis auf eine grössere Tiefe gelockert und gewendet werden. Dieses letztere Moment ist auch schliesslich dasjenige, welches, wie nicht geleugnet

werden kann, wesentlich zu Gunsten des Mischverfahrens spricht, weil, ganz abgesehen von den Vortheilen, welche die Tiefcultur an sich bietet, durch die tiefere Bearbeitung die Mischung zweier Bodenarten, von welchen jede für sich dem Pflanzenwachsthum gegenüber sich in mehrfacher Beziehung ungünstig verhält, und die wünschenswerthe Ausgleichung ihrer entgegengesetzten Eigenschaften in vollkommenster Weise bewirkt werden kann.

Wenn den vorstehenden Darlegungen gegenüber auch geltend gemacht werden kann, dass mittelst des *Rimpau*'schen Deckverfahrens grosse und nachhaltige Erfolge auf den nach demselben cultivirten Böden erzielt worden seien, so darf doch dabei nicht vergessen werden, dass Thatsachen solcher Art noch keineswegs die aus dem Bisherigen zu ziehende Schlussfolgerung widerlegen, dass die Misch- vor der Deckmethode, selbst wenn sie hinsichtlich der Höhe der Ernten keine grösseren Vortheile voraus haben sollte, doch jedenfalls in Bezug auf die Sicherheit der Erträge entschieden vorzuziehen ist. Dafür sprechen nicht allein die in den holländischen Mooren gemachten Erfahrungen und die Ergebnisse verschiedener von *M. Fleischer* veranlasster Versuche, sondern auch die vom Verfasser angestellten, weiterhin anzuführenden Beobachtungen, welche überdies den Beweis liefern, dass, wenigstens im Klima der schwäbisch-bayerischen Hochebene mittelst der Sandmischung auch höhere Erträge erzielt werden als mit Hilfe der Sanddeckung. Was schliesslich den gegen die Zweckmässigkeit jenes Verfahrens vielfach erhobenen Einwand betrifft, dass der Sand in tiefere Schichten des Moorbodens eindringe, so ist demgegenüber zu betonen, dass dieser Vorgang, welcher übrigens sich nur langsam und auch bei dem mit einer Sanddecke versehenen Boden vollzieht, nicht von nachtheiliger, sondern vortheilhafter Wirkung ist, weil dadurch immer tiefere Schichten des Bodens erschlossen und der Bearbeitung zugänglich gemacht werden.

Am besten eignet sich zur Verbesserung des Moorbodens ein unkrautfreier, grobkörniger Sand, weil dieser am wenigsten die nothwendige Durchlüftung hindert, was namentlich bei dem *Rimpau*'schen Verfahren in Betracht kommt. Feinkörniger Sand erscheint ungeeignet, weil derselbe vom Winde leicht verweht wird. Andere feinkörnige Bodenarten, wie Moorkalk (Alm), Mergel, Lehm, Thon erscheinen als Deckmaterial nicht verwendbar, wegen ihrer geringen Durchlässigkeit für Luft, dagegen können dieselben vortheilhaft zur Mischung mit dem Moorboden benutzt werden.

Enthält der Sand Schwefeleisen, so wird immer noch an die Ausführung der Culturen gedacht werden können, wenn die Schwefeleisenmengen nicht zu beträchtlich sind. Die an der Luft sich bildenden Verbindungen, die Schwefelsäure und das schwefelsaure Eisenoxydul, können durch Zuführung von Aetzkalk oder hochprocentigem Mergel, sowie durch Moorkalk zerstört werden. Es bildet sich hierbei schwefelsaurer Kalk und unschädliches Eisenoxyd.

Der Sand muss nicht gerade dem Untergrunde des zu cultivirenden Moores, sondern kann auch von benachbarten Flächen entnommen werden. Im letzteren Fall erscheint die Benutzung verlegbarer Eisenbahnen geboten, welche die Möglichkeit gewähren, die Meliorationen auch auf solche Moore auszudehnen, die bei allzugrosser Mächtigkeit der Moorschicht sonst nach dem gewöhnlichen Verfahren nicht behandelt werden könnten[1]).

[1]) In Bezug auf die Details der Ausführung beider Verfahren ist auf die einschlägige Litteratur zu verweisen, (*E.* u. *K. Birnbaum*. Die Torf-Industrie und die Moorkultur. Braunschweig. 1880. — *Fr. Krey*. Die Moorkultur. Berlin. 1885 u. s. w.)

Bei näherer Erwägung der nothwendigen Bedingungen wirthschaftlicher Culturen bezeichneter Art gelangt man zu der Ueberzeugung, dass nur unter bestimmten Voraussetzungen auf dem angegebenen Wege sich Erfolge erzielen lassen werden. Zunächst käme in dieser Beziehung die Moortiefe in Betracht, welche 1,5 m nicht überschreiten darf, weil bei grösserer Mächtigkeit der Moorschicht das Aufbringen des Untergrundes zu theuer wird. Ausgenommen sind hierbei nur solche Fälle, wo es sich um die Verbesserung von Gründen handelt, die am Rande des Moores gelegen sind und mit Hilfe von mineralischen Erdarten benachbarter Ländereien eine Verbesserung erfahren sollen. Bei einer Tiefe der Moorschicht von 0,4 m und darunter wird durch Rajolen der beabsichtigte Zweck am besten und billigsten erreicht werden können. Weiters ist die Beschaffenheit des Moores bezüglich der Anwendbarkeit der in Rede stehenden Meliorationsverfahren nicht ausser Acht zu lassen. Für die Deckcultur dürften sich im Allgemeinen nur Niederungsmoore eignen, weil deren Masse eine stärkere Zersetzungsfähigkeit besitzt als jene der Hochmoore. Wenn letztere überhaupt eine Verbesserung ihrer physikalischen Eigenschaften erfahren sollen, so wird dies mit Sicherheit nur durch Mischung mit mineralischen Erdarten erzielt werden können.

Im Uebrigen erweisen sich für die erfolgreiche Anwendung der Culturen die Verkehrs- und Arbeiterverhältnisse und die Möglichkeit der Beschaffung der erforderlichen Capitalien belangreich. Wo die Absatzverhältnisse für die gewonnenen Producte ungünstig und die Arbeitslöhne hoch sind, wird selbstverständlich die Rentabilität der betreffenden, an sich kostspieligen Unternehmungen in Frage gestellt sein. Die Aussicht auf einen entsprechenden Gewinn ist ferner von vornherein in einem hohen Grade ungewiss dort, wo die Beschaffung der erforderlichen Capitalien erschwert ist, besonders dann, wenn sämmtliche Auslagen im Voraus zu entrichten sind. Günstiger gestalten sich diese Verhältnisse bei der Veencultur, bei welcher bekanntlich das Moor abgetorft und die vorher bei Seite geschaffte obere faserige Schicht des Moorbodens (Bunker- oder Schollerde) mit dem sandigen Untergrunde gemischt wird. Hier werden durch den Verkauf des Torfes die Mittel zur Bestreitung der Kosten gewonnen, welche die Urbarmachung des Moores erfordert.

In allen Fällen, wo die angeführten Bedingungen nicht gegeben sind, sowie bei niedrigen Preisen der landwirthschaftlichen Producte steht der Kostenaufwand in der Regel in einem derartig ungünstigen Verhältniss zu den Erträgen, dass man von der Ausführung der Sanddeck- und Sandmischcultur zweckmässig Abstand nimmt. Dies gilt vor Allem von den gegenwärtigen Verhältnissen, unter welchen kostspielige Culturunternehmungen wegen der niedrigen Marktpreise für die Feldproducte überhaupt nicht mehr rentabel sind. Ob deshalb und speciell dann, wenn wegen nicht geeigneter Beschaffenheit des Moores oder aus den anderen oben angegebenen Gründen die besprochenen Meliorationsverfahren nicht ausführbar sind, von jeglicher Cultur der Moore Abstand zu nehmen sei, ist eine Frage, welche füglich insofern verneint werden kann, als es auch ohne Beimischung von mineralischen Erdarten möglich ist, den Moorböden Erträge abzugewinnen, welche die zu ihrer Cultivirung aufgewendeten Kosten lohnen. Hierbei wird man freilich in manchen Gegenden die durch Volumveränderungen des Bodens bedingten Schädigungen unter Umständen mit in den Kauf nehmen und auf eine solche Festigkeit des Bodens, wie bei der Zufuhr von Mineralböden, Verzicht leisten müssen, aber

trotzdem bei geeigneter Behandlung des Moorbodens und rationeller Bewirthschaftung einen lohnenden Gewinn erzielen.

Die Cultur des Moorbodens an sich wird wie in allen übrigen Fällen durch eine Entwässerung des Landes einzuleiten sein, die aber nach den oben angeführten Regeln in Rücksicht auf das Wasserbedürfniss der Pflanzen und auf die klimatischen Verhältnisse, und nicht, wie gewöhnlich, schablonenmässig einzurichten ist. Hierauf ist die Vernichtung aller auf dem Moore befindlichen höher wachsenden Pflanzen in das Auge zu fassen, eine Operation, die in einfachster und zweckmässigster Weise durch Verbrennen jener Gewächse bewirkt wird. Der Boden wird alsdann gepflügt, wobei die Thiere, wenn die Moormasse zu weich sein sollte, an den Füssen mit Moorschuhen versehen werden. Bei der weiteren Bearbeitung ist besonders darauf zu sehen, dass das Moor innerhalb gewisser Grenzen möglichst zerkleinert werde, zu welchem Zweck Krümmer, Exstirpatoren und scharfe Eggen in Anwendung zu kommen haben. Diese Instrumente sind in der Weise zu benützen, dass eine Austrocknung der oberen Schichten vermieden wird. Bei etwaigem Eintritt einer solchen muss der Boden sofort gewalzt werden, um einerseits die verdunstende Oberfläche möglichst zu beschränken und andererseits die capillare Leitung des Wassers nach oben zu fördern. Nachdem dem Boden die erforderlichen Nährstoffe in Form von künstlichen Düngemitteln nach den weiter unten angeführten Regeln zugeführt und die Sämereien untergebracht worden sind, wird schliesslich der Boden mit einer schweren Walze gewalzt.

Dieses feste Zusammenpressen des zerkleinerten Bodens hat in mehrfacher Beziehung einen günstigen Einfluss auf die Fruchtbarkeitsverhältnisse des Moorbodens. Vor Allem wird in Folge dieser Procedur das Wasser aus den tieferen Schichten an die Oberfläche gehoben und dadurch der Abtrocknung derselben, namentlich im Frühjahr, vorgebeugt. Damit werden aber gleichzeitig auch die Frostschäden beseitigt, weil diese, wie oben (S. 270) gezeigt, nur dann sich bemerkbar machen, wenn die Oberfläche des Moores abgetrocknet ist. In gleicher Richtung wirkt das Walzen ausserdem dadurch günstig, dass durch dasselbe die Wärmeleitung und die Wärmecapacität des Bodens, und zwar durch festere Lagerung der Bodenpartikel, sowie durch Vermehrung des Wasservorrathes, eine Erhöhung erfahren. Die Wasserversorgung der oberen durch die unteren Schichten muss überdies für die Vegetation von nützlicher Wirkung sein. Die Volumveränderungen werden durch das Walzen allerdings nicht behoben. Dieselben sind jedoch in Klimaten mit regelmässig vertheilten Niederschlägen und mit einer starken Schneedecke im Winter von untergeordneter Bedeutung. Die Festigkeit des Bodens erfährt bei Anwendung der Walze in der Regel nur eine geringe Erhöhung, so dass bei der Abfuhr der Feldproducte die Benutzung verlegbarer Feldbahnen sich als erforderlich erweist.

Für die Zweckmässigkeit des in Rede stehenden Verfahrens, wenigstens in feuchteren Klimaten, sprechen sowohl die im Grossen in verschiedenen südbayerischen Mooren gemachten Erfahrungen, als auch die Ergebnisse verschiedener Versuche des Verfassers, von welchen einige hier eine Stelle finden mögen. Vorausgeschickt sei, dass die durch starke Bretter abgegrenzten Parcellen eine Tiefe von 0,4 m und einen Querschnitt von 1 qm besassen, sowie, dass die Moorböden auf einem vollständig durchlässigen Untergrund aufruhten.

Hochmoorboden.

Culturart.	1892.		1893.		1894.			
	Sommerroggen.		Sommerraps.		Winterroggen.		Leindotter.	
	Körner gr.	Stroh gr.	Körner gr.	Stroh gr.	Körner gr.	Stroh gr.	Körner gr.	Stroh gr.
Unverändert	427,0	870	103,9	850	234,5	720	159,6	595
Mit Sand gemischt	423,5	850	104,2	645	218,9	640	85,8	322
Mit Sand bedeckt	375,5	760	89,3	580	194,6	540	65,7	213

Niederungsmoorboden.

Culturart.	Sommerroggen. Körner gr.	Stroh gr.	Sommerraps. Körner gr.	Stroh gr.	Winterroggen. Körner gr.	Stroh gr.	Leindotter. Körner gr.	Stroh gr.
Unverändert	605,3	1050	348,0	670	318,0	970	156,6	553
Mit Sand gemischt	529,0	890	344,1	545	271,7	850	139,8	417
Mit Sand bedeckt	501,5	910	307,8	435	220,0	740	108,7	330

Diese Zahlen lassen erkennen, dass auf dem nicht besandeten Moorboden, lediglich unter Anwendung geeigneter Düngemittel und einer zweckmässigen Bearbeitung, sogar höhere Erträge erzielt wurden als auf dem besandeten[1]). Damit ist also der Beweis geliefert, dass der Moorboden auch ohne Benützung von mineralischen Böden zum Anbau verschiedener landwirthschaftlicher Nutzgewächse herangezogen werden kann.

Der in seinen physikalischen Eigenschaften verbesserte Moorboden bedarf in Rücksicht auf seine Armuth an assimilirbaren Nährstoffen in jedem Fall einer Düngung, die natürlich der chemischen Beschaffenheit desselben anzupassen ist. In Folge stärkerer Zersetzung und grösseren Reichthums der Moorsubstanz ist in der Regel in den Niederungsmooren ein zur Hervorbringung eines üppigen Pflanzenstandes vollständig ausreichender Stickstoffvorrath vorhanden. Eine Zufuhr stickstoffhaltiger Düngemittel erscheint nur dort geboten, wo das Moor mit einer Sanddecke versehen wird, weil die Pflanzen, so lange sie sich in letzterer entwickeln, sonst wegen des Fehlens von Stickstoffverbindungen, nur mangelhaft ernährt würden. Erst wenn nach Umfluss einer Reihe von Jahren in der obenaufliegenden Sandschicht aus den Ernterückständen sich ein genügender Vorrath von humosen Bestandtheilen angesammelt hat, wird die Stickstoffdüngung (Chilisalpeter) in der Mehrzahl der Fälle unterbleiben können. Ausnahmslos nothwendig ist die Zufuhr von Kali, welches auf dem reinen Moor in Form von Kainit oder Carnallit, auf dem mit Mineralböden verbesserten Moor unter Umständen auch wohl als Chlorkalium zugeführt wird. Weiters ist in den meisten Fällen eine Phosphorsäuredüngung erforderlich, welche auf dem reinen und mit Sand gemischten Moorboden am besten durch Thomasphosphatmehl erfolgt. Das in diesem enthaltene Kalkphosphat wird unter dem Einfluss der humosen Bestandtheile zersetzt, wobei die Phosphorsäure allmählich in den aufnehmbaren Zustand übergeführt wird. Dieses billigste Phosphat übt hier eine ebenso günstige, oft noch bessere Wirkung aus als das theuere Superphosphat, welches nur

[1]) Die Böden erhielten eine Düngung von Superphosphat, Chilisalpeter, Kainit resp. Chlorkalium.

für Moorböden geeignet erscheint, die mit einer Sanddecke versehen sind. Für alle Fälle erscheint es räthlich, durch einen Feldversuch die Nothwendigkeit einer Phosphorsäurezufuhr festzustellen, weil diese unter Umständen völlig überflüssig ist. Die Düngungen an Kali (ca. 400—1000 kg Kainit pro ha) und ev. an Phosphorsäure (ca. 200—600 kg Thomasmehl) sind alljährlich zu wiederholen, und so früh als möglich, also auch für den Frühjahrsanbau bereits im Herbst auszuführen. Die betreffenden Materialien werden flach untergebracht oder eingeeggt. Nur in diesem Fall ist eine gleichmässige Vertheilung der schwer löslichen Phosphorsäure des Thomasmehles und des Kalis in der Wurzelregion des Bodens und eine Auswaschung des im Uebermaass schädlichen Kochsalzes (im Kainit) zu erzielen.

Auf den Hochmooren, in welchen die Moormasse einer äusserst langsamen Zersetzung unterliegt und sämmtliche Nährstoffe in unzureichender Menge vorhanden sind, hat sich die Düngung nicht allein auf das Kali und die Phosphorsäure, sondern auch auf den Kalk und den Stickstoff zu erstrecken. Dadurch wird ein Kostenaufwand erforderlich, der meist in einem ungünstigen Verhältnisse zu den erzielten Erträgen steht. Rechnet man hinzu, dass auch die physikalische Beschaffenheit der Hochmoorböden in Rücksicht auf das Pflanzenwachsthum eine ungleich ungünstigere ist als die der Niederungsmoore, so erscheint es im hohen Grade fraglich, ob eine Melioration jener überhaupt angezeigt sei. In der That wird man in den meisten Fällen am zweckmässigsten von der Cultur der Hochmoore Abstand nehmen, weil diese sich nicht rentabel erweisen wird. Eine bessere Ausnutzung werden dieselben dadurch erfahren, dass man die oberen Schichten zu Streutorf verarbeitet und die tieferen zur Herstellung von Brenntorf (S. 274) verwendet.

Wo die Verhältnisse derart sind, dass auch auf Hochmooren der Anbau landwirthschaftlicher Culturpflanzen räthlich erscheint, verwendet man bei der Zufuhr des Kalis und der Phosphorsäure dieselben Dungmaterialien, welche als passend für die Niederungsmoore bezeichnet wurden. Der Kalk wird entweder in Form von Aetzkalk (ca. 5000—10000 kg pro ha) oder von kohlensaurem Kalk (Mergel) gegeben. Es scheint empfehlenswerther zu sein, die Kalkzufuhr in kleineren Mengen und öfter zu bewirken, als auf einmal eine starke Kalkung vorzunehmen. Der Stickstoff wird entweder mit Hilfe von Chilisalpeter oder unter Anwendung von compostirtem Stalldünger und Compost zugeführt. Der unveränderte Stalldünger wirkt insofern schädlich, als er die lockere Beschaffenheit des Moores vergrössert.

Bei den Veenculturen in Holland wird zur Düngung sowohl Stadtdünger als auch Seeschlick verwendet. Ersterer besteht aus einem Gemisch des Inhaltes der Cloaken mit Küchenabfällen, Asche, Strassenkehricht u. s. w. Dieses von den Städten selbst gesammelte und hergestellte Düngemittel wird nach Gewicht meistbietend an die Colonisten verkauft. Der Seeschlick, welcher den an der Mündung der Flüsse sich absetzenden feinerdigen Schlamm darstellt und durch Baggerung gewonnen wird, hat gleichergestalt eine physikalische wie chemische Wirkung auf den Boden. Er steht in Bezug auf letztere zwar dem Stadtdünger nach, hinsichtlich ersterer kommt er aber diesem gleich. Da er aber der ungleich geringeren Kosten wegen in erheblich grösseren Mengen angewendet wird, so verdient er vor dem Stadtdünger bezüglich der Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Bodens den Vorzug.

Ein in den norddeutschen Mooren weit verbreitetes Düngungsverfahren besteht, wie schliesslich hier der Vollständigkeit wegen angeführt sein mag, darin, dass man durch Veraschung eines Theils der organischen Substanz die in derselben enthaltenen unorganischen Bestandtheile in eine den Pflanzen zugängliche Form überführt. Diese Procedur wird öfters wiederholt, bis der Boden erschöpft ist.

Bei der Ausführung dieses Verfahrens[1]), ***Brandcultur*** genannt, wird der Moorboden zunächst entwässert. Zu diesem Zweck zieht man vorerst einen Hauptentwässerungsgraben von 1,25—1,50 m Tiefe, und hierauf, rechtwinkelig zu diesem, 24—30 m von einander entfernte Gräben, welche eine Tiefe von 90 cm und eine Breite von 130 cm erhalten. Um die Entwässerung zu vollenden, werden diese durch kleinere, rechtwinkelig in sie einmündende, also parallel zum Hauptentwässerungsgraben liegende Gräben dritter Ordnung, welche 6 m von einander entfernt gelegt werden und 40 cm breit und 40—60 cm tief gemacht werden, mit einander verbunden.

Die aus den Gräben ausgeworfene Erde wird über die Oberfläche der Beete gleichmässig vertheilt, worauf die Felder mit dem Spaten umgegraben oder mit einer Hacke, Haue genannt, umgehackt werden. In diesem Zustande bleibt das Land den Winter über liegen. Bei günstiger Witterung findet das Brennen in der S. 363 angegebenen Weise statt. In die noch warme Asche wird Buchweizen gesäet, der mit einer Dornegge untergebracht wird.

Der einmal gebrannte Acker kann 3—5 Jahre hintereinander gebrannt und benutzt werden, überhaupt so lange als die aufgehackte Torferde sich brennen lässt. Letzteres wird schliesslich dadurch verhindert, dass sich auf der Oberfläche des Bodens eine harte Rinde bildet, die sich nicht mehr lockern und veraschen lässt. Ausserdem hat sich die Fruchtbarkeit des Bodens, weil derselbe durch die Ernten ausgeraubt wird und keine anderweitige Düngung erhält, nach mehrmaligem Brennen so weit verringert, dass eine Fortsetzung der in Rede stehenden Operation keinen Vortheil gewähren würde. Der erschöpfte Boden wird nunmehr einer 30—40jährigen Brachruhe übergeben, damit sich eine neue, zum Brennen taugliche Narbe bilde.

Auf Niederungsmooren, deren Torf eine geringere Brennbarkeit besitzt, ferner in feuchten Lagen, sowie dort, wo Zugthiere das Land betreten können, wendet man auch wohl das Verfahren an, unter Anwendung von Spanngeräthen Torfstücke herzustellen und diese in Haufen, welche mit Reisig gefüllt sind, zu brennen (S. 364).

Die günstigen Wirkungen des Brennens machen sich nach verschiedenen Richtungen geltend. Durch das Feuer wird der Humus zerstört und eine Asche erzeugt, die, mit dem übrigen Boden vermischt, den Boden physikalisch und chemisch verbessert. Ungelöste Mineralstoffe werden in den assimilirbaren Zustand übergeführt und sammeln sich in grösserer Menge in dem Boden an. Ausserdem werden schädliche Bestandtheile (Eisenoxydul) in unschädliche (Eisenoxyd) umgewandelt. Diese günstigen Einwirkungen erstrecken sich jedoch nur auf die vom Feuer berührten Schichten, sowie auf jene, welche mit den Verbrennungsproducten gemischt wurden. Die unteren Partien behalten ihre frühere ungünstige Beschaffenheit. Sobald daher die löslich gewordenen Nährstoffe von den Pflanzen aufgenommen worden sind, kehrt der einstige unfruchtbare Zustand wieder zurück.

---

[1]) *E. Birnbaum.* Ueber das Moorbrennen und die Wege zu seiner Beseitigung. Glogau, 1873.

Wie gross andererseits die Nachtheile sind, welche die Brandcultur mit sich führt, beweist am besten der trostlose Zustand, der dort herrscht, wo die Bewohner zur Erhaltung ihrer Existenz auf diese angewiesen sind. Selbst in nicht ungünstigen Jahren können sie ihr Dasein nur nothdürftig fristen, in ungünstigen aber, wie solche häufig vorkommen, sind sie geradezu auf die Unterstützung benachbarter Oerter, Provinzen oder des Staates angewiesen. Man ist daher schon häufig der Frage näher getreten, ob es nicht angezeigt sei, das Brennen des Moores ganz zu verbieten und auf irgend eine Weise die Moorcolonisten anderweitig zu beschäftigen oder zu entschädigen. Besonders drängte auch zu dieser Erörterung der Hinweis, dass der Moorrauch[1]) (Höhen-, Heer-, Haar- oder Landrauch), der durch das Moorbrennen erzeugt wird, einen nachtheiligen Einfluss auf das Klima und die Vegetation ausübe. Indessen sind alle hierfür angeführten Momente als nicht stichhaltig anzusehen; im Gegenteil lassen sich Gründe anführen, welche es wahrscheinlich machen, dass der Moorrauch unter gewissen Verhältnissen den angebauten Gewächsen nützlich sein kann. Demselben kann nur insofern eine ungünstige Wirkung zugeschrieben werden, als er lästig für Menschen und Thiere ist.

Ganz anders verhält es sich, wenn man dies Moorbrennen vom Standpunkt der Landescultur betrachtet. Zwar ist dasselbe an sich zur Vorcultur eine für manche Verhältnisse vortheilhafte Methode, ausschliesslich zur Fruchtbarmachung angewendet, aber als ein Raubbau zu betrachten[2]), „denn sie zehrt nur von den vorhandenen geringen Kräften des Bodens, ohne auf Wiederersatz der durch die Ernten entzogenen Stoffe durch Düngung Rücksicht zu nehmen; mit jedem Brennen wird der Boden ärmer, verringern sich die Erträge, bis schliesslich der Acker erschöpft und vollständig unfruchtbar ist. Nachdem die Ländereien ausgeraubt sind, nimmt man andere Flächen in Angriff, um sie auf ähnliche Weise auszubeuten. Sind auch die von den Wohnungen entfernter gelegenen Ländereien ausgeraubt, so werden die Colonisten gezwungen, ihre bisherigen Wohnsitze zu verlassen, um sich von Neuem in geeigneten Gegenden anzusiedeln.

Ausserdem sind die Ernten unsicher, indem man vorzugsweise nur eine Frucht, den Buchweizen (seltener Roggen, Rauhhafer, Kartoffeln, Rüben) anbaut und dieser leicht Schaden leidet. Deshalb hängt das Wohl und Wehe der Colonisten vom Ausfall der Buchweizenernte ab und dies ist im hohen Grade misslich. Da ferner kein Futter erzielt wird, so ist auch die Viehzucht, die Basis der Landwirthschaft, unmöglich, und es fallen in solchem Betriebe alle jene Vortheile weg, die aus der Verbindung von Ackerbau und Viehzucht entspringen.

Häufig greift das Feuer weiter um sich als man beabsichtigte, oder dasselbe wird durch anhaltende Regen unterdrückt, ausgelöscht, so dass das Brennen unvollkommen ausgeführt, das Säen verzögert, ja nicht selten unmöglich wird und die Vorarbeiten vergeblich waren.

Doch nicht allein dadurch, dass die Moorbrandcultur einen höchst unsicheren und durchschnittlich geringen Ertrag liefert, den Boden bis zur Erschöpfung ausraubt, einen dauernd rentablen Wirtschaftsbetrieb ausschliesst und die Gegenden verödet,

[1]) *M. A. F. Prestele.* Ueber das Moorbrennen in Ostfriesland, den Morrauch, die weite Verbreitung des letzteren in Europa u. s. w. Göttingen. 1868. — *W. von Laer.* Der Morrauch und seine Beseitigung. Münster in W. 1871.

[2]) *E. Birnbaum.* a. a. O. S. 43.

erwachsen Nachtheile mannigfachster Art, sondern dieselbe ist auch aus dem Grunde, dass sie in moralischer Hinsicht einen verderblichen Einfluss auf die Menschen ausübt, unstreitig zu verwerfen. Die Einförmigkeit des Betriebes, die damit verbundene zeitweise Musse, die geringe Beschäftigung, der unzureichende Verdienst der Menschen im Winter, wenn durch die Unwegsamkeit der Moore jeder Verkehr stockt, ferner die geringe Aussicht auf Verbesserung ihrer Lage, alles dieses bestärkt die Menschen in ihrer Trägheit und Theilnahmlosigkeit. Dazu tritt noch die schlechte Nahrung, insbesondere der Mangel an Fleischnahrung und das Ueberwiegen der stickstofffreien Nährstoffe. Auch diesen Umständen ist zum grossen Theil der Mangel an Thatkraft und Energie der Moorbewohner zuzuschreiben.

Der verderbliche Mangel der Moorbrandcultur liegt also weniger in der Lästigkeit oder der angezweifelten Schädlichkeit des durch sie erzeugten Moorrauchs, sondern überwiegend in den Nachtheilen, welche sie in land- und volkswirthschaftlicher Beziehung auf die Bevölkerung der Moorgegenden ausübt. Die daselbst durch sie hervorgerufenen Uebelstände begreifen so viel Gefahren für die Volkswirthschaft in sich, dass diese Gründe allein vollständig genügen, um dieser Culturart entgegenzutreten, ihrem Umsichgreifen durch Anbahnung anderer Verhältnisse Einhalt zu thun, sie einzuschränken und womöglich abzuschaffen". Die Frage einer anderen rationellen Cultur der unaufgeschlossenen Hochmoorflächen oder der anderweitigen Beschäftigung oder der Entschädigung der Moorcolonisten ist jedoch noch so wenig gelöst, dass die Brandcultur wohl noch lange Zeit fortdauern wird. Sie wird auch erst dann beseitigt werden können, wenn vor Allem die erforderlichen Mittel beschafft sein werden, ohne welche die Einführung eines besseren Verfahrens nicht möglich ist.

Für die Rentabilität der übrigen bisher besprochenen Culturmethoden kommen schliesslich noch gewisse Maassnahmen hinsichtlich der Betriebsorganisation und der Auswahl der Nutzgewächse wesentlich in Betracht. Auf Mooren, welche durch Zuführung mineralischer Böden und rationelle Düngung verbessert worden sind, kann man zwar alle Culturgewächse anbauen, welche unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen die Bedingungen ihres Gedeihens finden[1]), auf in solcher Weise nicht veränderten, lediglich durch Düngung und entsprechende Bearbeitung vorbereiteten Ländereien wird man dagegen bei der Auswahl der anzubauenden Gewächse neben dem Klima auch den Umstand mit zu berücksichtigen haben, inwieweit letztere auf dem Moorboden selbst ein sicheres Fortkommen finden. Im Zusammenhang hiermit wird die Frage einer zweckmässigen Betriebsweise verknüpft werden müssen.

Offenbar wird es auf Böden, welche im Allgemeinen nur eine geringe Menge assimilirbarer Nährstoffe besitzen, geboten sein, einen möglichst schonenden Betrieb einzurichten, d. h. einen solchen, in welchem der Futterbau in Verbindung mit Viehzucht in den Vordergrund gestellt ist. Eine derartige Betriebsweise erscheint um so vortheilhafter, als die Cultur der Futterpflanzen auf den Moorböden überdies eine grössere Sicherheit in den Erträgen gewährt als jene der übrigen Nutzpflanzen. Als zur Anlage von Futterwiesen auf Moorländereien sich besonders eignende Pflanzen sind zu bezeichnen: Phleum pratense, Avena elatior, A. pubescens, Dactylis

[1]) Mit Vorliebe hat man bis jetzt Hafer, Gerste, Roggen, Raps, Kartoffeln, Rüben, Gemüse, italienisches Raygras gebaut. Auch Weizen kann gut gedeihen, derselbe leidet aber häufig stark an Rost.

glomerata, Festuca arundinacea, F. rubra, Poa serotina, Lolium italicum, ferner Agrostis vulgaris (A. stolonifera), Holcus lanatus, Cynosurus cristatus, Poa pratensis, Festuca ovina. Letztere Gräser finden sich später von selbst ein. Von den kleeartigen Gewächsen sind besonders zu berücksichtigen: Medicago lupulina, Lotus corniculatus, L. uliginosus, Trifolium repens, T. pratense, Lathyrus pratensis.

Unter den Körnerfrüchten nehmen der Roggen, der Rauhhafer (Avena strigosa), der Buchweizen, ferner die Leguminosen (Erbsen, Wicken, Acker- und Buschbohnen, Lupinen) die erste Stelle ein. Unter den Wurzelfrüchten sind vor Allem die Kartoffeln, demnächst die Runkelrüben zu berücksichtigen. Nicht unerwähnt darf bleiben, dass die meisten Gemüse bei ausreichender Düngung vortrefflich auf dem Moorboden gedeihen, namentlich die sogen. Wurzelgemüse.

Der Anbau forstlicher Gewächse bietet im Allgemeinen wenig Aussicht auf Erfolge, und dürfte ausserdem überall dort irrationell sein, wo es gelingt, auf den Moorböden gute Wiesen und Ackerfelder herzustellen. Immerhin kann es Verhältnisse geben, welche es wünschenswerth erscheinen lassen, gewisse Flächen in Wald zu verwandeln. Die in dieser Richtung bisher gemachten Erfahrungen erwecken keine grossen Hoffnungen. Zwar haben verschiedene Anpflanzungen, so z. B. mit Eichen, Fichten und Kiefern[1]) anfänglich ein gutes Gedeihen der betreffenden Pflanzen gezeigt, aber die Weiterentwickelung derselben war eine mangelhafte, wahrscheinlich weil die Pflanzenwurzeln, sobald sie die tieferen sauerstoffarmen und sauer reagirenden Moorschichten erreicht haben, in ihrem Wachsthum nachtheilig beeinflusst werden. Nur an solchen Stellen, wo das Moor nicht tief steht und eine gründliche Entwässerung des Bodens stattgefunden hat, werden gewisse Holzarten zu vollkommener Entwickelung gebracht werden können. Im Uebrigen wird man aber noch eine grössere Zahl von Versuchen anzustellen haben, ehe man die Frage der Tauglichkeit des Moorbodens für Waldculturen entgiltig entscheiden kann[2]).

Unter den baumartigen Gewächsen verdienen nach den bisher gemachten Erfahrungen nur die Weiden Beachtung, die zwar auch nicht auf dem Moore selbst ihr Fortkommen finden, sondern nur in der sandigen Unterlage desselben. Da aber flachgründige Stellen mit einem derartig beschaffenen Untergrunde in vielen Mooren vorkommen und auch die Grabenborde sich zur Anpflanzung bei nicht zu grosser Mächtigkeit der Torfschicht eignen, so ist dadurch die Möglichkeit gegeben, unter solchen Verhältnissen mehr oder weniger ausgedehnte Weidenheger anzulegen. Der Vortheil, den solche Culturen gewähren, besteht hauptsächlich darin, dass dieselben, abgesehen von der Anlage, zahlreichen Arbeitern während eines grossen Theiles des Jahres lohnende Beschäftigung verschaffen. Der Abtrieb erfordert stärkere Kräfte, das Sortiren und Entrinden kann aber von Frauen und grösseren Kindern verrichtet werden, die auch zum Reinigen der Plantage zu benutzen sind. Wenn gleichzeitig das Material zur Herstellung von Korbarbeiten seitens der Moorbewohner verwendet wird, so bietet sich reichliche Beschäftigung für dieselben auch im Winter.

---

[1]) *K. Brünings.* Der forstliche und der landwirthschaftliche Anbau der Hochmoore mittelst des Brandfruchtbaues. Berlin. 1881.

[2]) Nach gewissen Beobachtungen wäre hierbei besonders auf folgende Pflanzen Rücksicht zu nehmen: Eiche, Fichte, Erle, Birke (Betula pubescens, B. nana, B. humilis), Esche, Pappel (Populus tremula, P. nigra, P. canadensis), Wallnuss.

Die Vorbereitung des Bodens zu den Weidenanlagen findet in der Weise statt, dass man denselben in einer Tiefe von 40—60 cm rajolt, dann in 4 m breite Beete theilt und auf 60 : 45 cm Entfernung mit Stecklingen von Salix viminalis oder S. purpurea, resp. dem Bastard von beiden (S. viminalis-purpurea) besteckt. Im ersten Jahre ist eine Hackfrucht, Rüben oder Kartoffeln, als Zwischenfrucht in Dünger zu bauen, und diese gut rein zu halten. Im zweiten Jahre beginnt der jährlich zu wiederholende Abtrieb[1]).

c) *Die Waldböden.*

Für die Waldböden ist zunächst die Frage der ***Wirkung der Streubenutzung*** von hervorragender Wichtigkeit. Die in dieser Richtung in Fachkreisen bestehenden Anschauungen weichen nicht selten wesentlich von einander ab und lassen in Bezug auf ihre Berechtigung um so weniger eine Kritik zu, als die Zahl der einschlägigen Versuche hierzu sich als durchaus unzureichend erweist. Erst durch die Aufnahmen der zahlreich angelegten Streuversuchsflächen im Deutschen Reich wird in die betreffenden complicirten Verhältnisse ein näherer Einblik gewonnen werden können. Bis dahin wird man sich begnügen müssen, an der Hand der bisherigen Versuchsergebnisse eine ungefähre Vorstellung von den bezüglichen Wirkungen zu gewinnen.

Dass überhaupt die Streunutzung in den Wäldern auf die Fruchtbarkeit des Bodens und dadurch auf das Wachsthum der Bäume einen meist beträchtlichen Einfluss ausüben muss, wird nach den obigen Ausführungen (S. 295—326) über den Einfluss der Bodendecke auf das darunter liegende Erdreich nicht in Zweifel gezogen werden können. Diese Wirkungen machen sich sowohl auf den Nährstoffgehalt, als auch auf den mechanischen Zustand, die Luft-, Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse und zwar je nach der Beschaffenheit und Lage des Bodens der Pflanzenspecies, dem Alter der Gewächse, der Bestandesdichte u. s. w. in den mannigfachsten Combinationen geltend.

In dem Betracht, dass die in der Streu enthaltenen Bestandtheile in dem Maasse als sich diese zersetzt löslich und durch die atmosphärischen Wässer dem Boden zugeführt werden und dass eine anderweitige gleich ergiebige Quelle für die Nährstoffe den Pflanzen nicht zur Verfügung steht, wird von vornherein die Behauptung aufgestellt werden können, dass jede fortgesetzte Streunutzung nothwendigerweise zu einer Verarmung des Bodens in mehr oder minderem Grade führen muss.

Der bezügliche Einfluss wird sich offenbar in verschiedener Weise äussern, je nach dem natürlichen Reichthum des Bodens und der unterirdischen Wasserabfuhr. Inwieweit nach dieser Richtung hin Unterschiede auftreten, wird besonders durch die Versuche von *A. Stöckhardt*[2]) und *E. Ramann*[3]) nachgewiesen.

---

[1]) ***J. A. Krahe.*** Lehrbuch der rationellen Korbweidencultur. Aachen. 1884. — ***R. Schulze.*** Die Korbweide, ihre Cultur, Pflege und Benutzung. Breslau. 1885. — ***F. M. Schulzen.*** Korbweidencultur, Lehranstalten für Korbflechterei und die Weiden (salices). Trier. 1884. — ***R. Fischer.*** Die Feldholzzucht. Berlin. 1878. — ***A. Delius.*** Mittheilungen über die Cultur- der Flecht- und Bandweiden. Im Anhang zu: Die Cultur der Wiesen- und Grasweiden. Halle. 1874.

[2]) ***A. Stöckhardt.*** Landw. Versuchsstationen. Bd. VII. 1865. S. 235.

[3]) ***E. Ramann.*** Die Waldstreu und ihre Bedeutung für Boden und Wald. Berlin. 1890. — Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 1883. Heft 11 u. 12. S. 577 u. 633. — Vergl. ferner: ***R. Weber.*** Untersuchungen über die agronomische Statik des Waldbaues. München. 1877. Inaug.-Dissertation. — ***J. Hanamann.*** Vereinsschrift des böhmischen Forstvereins. 1881. S 48.

Ersterer wählte zu seinen Untersuchungen zwei nebeneinander liegende Walddistricte; welche bezüglich der Bodenbeschaffenheit und Lage vollkommen gleich waren. Beide Probeflächen bestanden aus Sandboden (Haidesand); die eine war mit 50jährigen Kiefern bestockt, während die andere, die früher auch mit gleichaltrigen Kiefern bestanden war, zur Zeit der Probenahme eine Blösse bildete. Die chemische Untersuchung des Bodens lieferte folgende Resultate auf 1 ha und 47 cm Bodentiefe in kg berechnet: Siehe Tabelle S. 389.

Aus diesen Zahlen geht deutlich hervor, dass der Waldboden an den so nothwendigen löslichen mineralischen Nährstoffen, an organischen und stickstoffhaltigen Verbindungen, sowie an abschlämmbaren Bestandtheilen durch Streurechen eine bedeutende Verminderung erfährt. Dem vergleichsweise höheren Humus- und Feinerdegehalt entsprechend, war auch die Wassercapacität des geschonten Bodens eine höhere als die des nicht geschonten.

Umfassende Untersuchungen über vorliegenden Gegenstand hat *E. Ramann* auf einem mit sehr geringwüchsigen Kiefern bestandenen Diluvialsandboden angestellt. Die zur geschonten in Vergleich gezogene nicht geschonte Fläche war sechszehn Jahre lang alljährlich berecht worden. Die pro ha in kg berechneten Werthe sind aus folgender Tabelle ersichtlich:

Bestandtheile.	In Salzsäure löslich.			Gehalt an löslichen u. unlöslichen Bestandtheilen.			Gehalt der erworbenen Streu.	In der erworbenen Streu mehr oder weniger enthalten.
	Unberechter Boden.	Berechter Boden.	Der berechte Boden enthält mehr oder weniger.	Unberechter Boden.	Berechter Boden.	Der berechte Boden enthält mehr oder weniger.		
Kali	1622	589	—1033	23040	16380	— 6660	21	—6639
Natron	1919	418	—1501	10125	8325	— 1800	6	—1794
Kalk	853	551	— 302	4747	4117	— 630	107	— 523
Magnesia	992	778	— 214	1462	1372	— 90	16	— 74
Eisenoxyd	7299	5017	—2282	13275	5130	— 8145	43	—8102
Thonerde	11131	9967	—1164	73372	66307	— 7065	75	—6990
Eisenoxydul u. Thonerde	18430	14984	—3446	86647	71437	—15210	—	—
Manganoxyduloxyd	558	402	— 156	2025	765	— 1260	24	—1236
Phosphorsäure	850	898	+ 48	2340	1102	— 1238	44	—1194
Schwefelsäure	180	49	— 131	—	—	—	4	— 127
Kieselsäure	14830	12647	—2183	—	—	—	168	—2015
Gesammtgehalt	41267	34735	—6532	—	—	—	—	—
Stickstoff	—	—	—	540	472	68	287	+ 219

Wie man sieht, hat die Streunutzung einen bedeutenden Verlust, sowohl an löslichen mineralischen Bestandtheilen, wie im Gesammtgehalt veranlasst. Selbst die sonst so widerstandsfähige Thonerde hat wesentlich abgenommen. Einige Stoffe, wie die Phosphorsäure, haben zwar im Gesammtgehalt einen Verlust erlitten, aber ein Theil derselben ist aus dem ursprünglich unlöslichen Zustand in den löslichen übergeführt worden. Ein Blick auf die letzten drei Columnen lehrt, dass der Gesammtverlust des Bodens sehr vielmal grösser ist, als der Menge an Mineralstoffen entspricht, welche durch die Streunutzung entführt worden ist, und die man sogar als unerheblich gegenüber dem Gehalt des Bodens bezeichnen kann. Es wird hieraus geschlossen werden dürfen, dass nicht die Streuentnahme für die Verarmung des

Bodenschichten.	In Salzsäure lösliche Mineralstoffe.						In Wasser lösliche Mineralstoffe.	Organische Stoffe (Humus).	Stickstoff	Abschlämmbare Theile (Feinerde).
	Kali.	Kalk.	Magnesia.	Kieselsäure.	Phosphorsäure.	Schwefelsäure.				
Geschonter Boden.										
Bodendecke (50600 kg.)	113	181	126	101	185	72	—	16970	242	—
Obergrund (16 Millionen kg.)	813	451	163	451	682	439	1300	45500	2110	—
Untergrund (8 „ „)	4550	3578	975	811	4550	1709	3420	77200	6002	—
Summa:	5476	4210	1264	1363	5417	2220	4720	139670	8354	1315000
Nicht geschonter Boden.										
Bodendecke (9940 kg)	7	56	28	36	33	8	—	1718	26	—
Obergrund (16 Millionen kg)	553	521	65	780	569	260	585	16420	1073	—
Untergrund (8 „ „)	3250	2280	244	650	4230	1380	2280	42300	3660	—
Summa:	3810	2857	337	1466	4832	1648	2865	60438	4759	576000
Mehrgehalt des geschonten Bodens.										
in der Bodendecke	106	125	98	65	152	64	—	15252	216	—
in dem Obergrund	260	— 70	98	—329	113	179	715	29080	1037	—
in dem Untergrund	1300	1298	731	161	320	329	1140	34900	2342	—
Summa:	1666	1353	927	—103	585	572	1855	79232	3595	739000

nicht geschonten Bodens, sondern andere Momente maassgebend waren. Als solche sind vornehmlich zu bezeichnen einerseits die raschere Verwitterung und andererseits die stärkere Auswaschung seitens der atmosphärischen Wässer in dem der Streudecke beraubten Boden.

Vorstehend mitgetheilte Versuche, sowie verschiedene andere dieser Art, vermitteln in eclatanter Weise die Thatsache, dass arme leichte Bodenarten durch regelmässige Streunutzung in bedeutendem Grade in ihrer Fruchtbarkeit geschädigt werden.

Auf bindigen thonreichen und von Hause aus mit reichlicheren Nährstoffmengen versehenen Bodenarten, wie z. B. auf Thon- und Lehmböden sind die durch die Streuentnahme hervorgerufenen Verluste ungleich geringer als auf Sandböden. Dafür sprechen die Ergebnisse einiger von *A. Stöckhardt*[1]) und *E. Ramann*[2]) angestellten Versuche. Die von ersterem auf Lehmboden ermittelten Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Je 100000 Theile des Bodens enthalten in Salzsäure löslich:

Bodenbeschaffenheit.		Kali.	Kalk.	Magnesia.	Phosphorsäure.	Schwefelsäure.	Abschlämmbare Theile % des Bodens.
Obergrund	geschonter Boden	152	67	22	166	61	56,5
	nicht geschonter Boden	144	62	18	159	75	54,5
Untergrund	geschonter Boden	110	65	25	140	60	50,1
	nicht geschonter Boden	92	59	26	140	58	48,4
Gesammtboden	geschonter Boden	262	132	47	306	121	53,3
	nicht geschonter Boden	236	121	44	299	133	51,5

Das Bild, welches diese Zahlen gewähren, ist ein ganz anderes als bei Sandböden; die Unterschiede in der Zusammensetzung zwischen dem geschonten und nicht geschonten Boden sind ungleich geringer als jene bei dem Sande unter gleichen Umständen; sie sind sogar so gering, dass sie kaum in Betracht kommen können.

Zu ähnlichen Resultaten gelangte *E. Ramann*, welcher seine Untersuchungen auf einem aus der Verwitterung vom oberen Diluvialmergel hervorgegangenen, auf Lehm und lehmigen Sand aufruhenden und mit 40jährigen Kiefern bestandenen Boden anstellte. Es wurden zwei Einschläge gemacht, von denen der erstere folgende Zusammensetzung des Bodens aufwies:

[1]) *A. Stöckhardt.* Tharand. Jahrbuch. Bd. 9. 1864. S. 280.

[2]) *E. Ramann.* Die Waldstreu u. s. w. S. 83. — Vergl. ferner: *Councler.* Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. Bd. 15. 1885. S. 121.

Bestandtheile.	Unberechte Fläche.		Seit 20 Jahren jährlich berechte Fläche.	
	Obere Bodenschicht 35 cm Lehm.	Untere Bodenschicht 65 cm Mergel.	Obere Bodenschicht 20 cm Lehm.	Untere Bodenschicht 80 cm Mergel.
Kali	2,36	1,74	0,80	2,69
Natron	0,61	0,34	0,26	0,15
Kalk	2,11	11,07	2,36	13,82
Magnesia	0,82	1,20	0,73	0,79
Eisenoxyd	4,45	5,58	5,44	5,04
Thonerde	7,12	5,41	7,65	5,38
Phosphorsäure	0,19	0,156	0,21	0,16
Schwefelsäure	0,018	0,015	0,018	0,019
Kieselsäure in Alkalien löslich . .	7,91	7,49	8,44	9,89

„Mit Ausnahme des Kali's, welches überhaupt in sehr wechselnden Mengen in den betreffenden Böden vorhanden zu sein scheint, entsprechen die Analysen durchaus den Erwartungen. Der auf der unberechten Fläche ausgeführte Einschlag zeigt eine stärkere Verwitterung (35 cm Lehm zu 20 cm auf der berechten Fläche) und dementsprechend auch einen geringeren Gehalt an Mineralstoffen, insbesondere auch an dem leicht auswaschbaren Kalke, während die Menge der Schwefelsäure eine auffallend gleiche ist".

Der zweite Einschlag zeigte genau dieselben Verhältnisse, wie folgende Zahlen darthun:

Bestandtheile.	Unberechte Fläche.						Jährlich berechte Fläche.					
	Obere Bodenschicht 70 cm lehmiger Sand			Untere Bodenschicht 30 cm Lehm.			Obere Bodenschicht 53 cm lehmiger Sand.			Untere Bodenschicht 47 cm Lehm.		
	Löslich in Salzsäure.	Unlöslicher Rückstand.	Gesammtboden.	Löslich in Salzsäure.	Unlöslicher Rückstand.	Gesammtboden.	Löslich in Salzsäure.	Unlöslicher Rückstand.	Gesammtboden.	Löslich in Salzsäure.	Unlöslicher Rückstand.	Gesammtboden.
Kali	0,11	1,73	1,84	0,17	1,94	2,11	0,07	0,90	0,97	0,34	0,80	1,14
Natron	0,03	0,68	0,71	0,04	0,48	0,52	0,08	0,27	0,35	0,03	0,38	0,41
Kalk	0,54	0,63	1,17	1,89	0,64	2,53	0,64	0,28	0,92	2,02	0,93	2,95
Magnesia . . .	0,11	0,18	0,29	0,37	0,24	0,61	0,25	0,05	0,30	0,66	0,24	0,90
Eisenoxyd . . .	1,53	0,97	2,50	2,33	0,98	3,31	1,69	0,88	2,57	4,40	0,89	5,29
Thonerde . . .	0,95	4,85	5,80	1,41	5,82	7,23	1,07	4,68	5,75	2,01	5,57	7,58
Phosphorsäure . .	0,18	0,05	0,23	0,11	0,03	0,14	0,08	0,10	0,18	0,11	0,06	0,17
Schwefelsäure . .	0,012	—	—	0,012	—	—	0,014	—	—	0,012	—	—
Lösliche Kieselsäure	—	7,49	—	—	5,13	—	—	3,35	—	—	7,08	—

Mit Ausnahme der Alkalien, welche wiederum in geringeren Mengen in dem berechten Boden auftreten, machen sich in der Zusammensetzung der Proben nur geringe Abweichungen geltend. Der Gehalt an löslichen Bestandtheilen ist in dem berechten Boden etwas höher; der Gesammtgehalt dagegen nahezu gleich. Die S t r e u n u t z u n g h a t d e m n a c h w ä h r e n d e i n e s Z e i t r a u m e s v o n 20 J a h r e n d e n B o d e n i n s e i n e r Z u s a m m e n s e t z u n g n i c h t w e s e n t l i c h g e ä n d e r t. Die Ursache der Erscheinung, dass in Lehmböden die Streunutzung eine sehr viel geringere Wirkung auf die Zusammensetzung hervorruft als in Sandböden, wird jedenfalls einerseits auf den ungleich grösseren Reichthum an Mineralstoffen, anderer-

seits auf die beträchtlich geringere Absickerung des Wassers in jenen im Vergleich zu letzteren Böden zurückzuführen sein.

Von den übrigen Wirkungen der Streuentnahme sind weiters jene in Betracht zu ziehen, welche auf die Zusammenlagerung der Bodentheilchen ausgeübt werden, wie solche in dem Porenvolumen zum Ausdruck gelangen. Von Nebenumständen abgesehen, wird letzteres auf den geringen und geringsten Kiefernböden durch eine lang fortgesetzte Streunutzung herabgedrückt, während auf den besseren Böden ein nennenswerther Rückgang in dem Porenvolumen nicht beobachtet wird[1]).

Hinsichtlich des Wasservorrathes haben die Untersuchungen von *E. Ramann*[2]) ergeben, dass der unberechte Boden nur in den oberen Schichten feuchter, in den unteren (25—80 cm) dagegen trockener ist als der berechte. Diese Unterschiede werden vom genannten Autor durch das vergleichsweise leichtere Eindringen des Wassers in den berechten Boden und durch die verminderte Verdunstung aus demselben erklärt. Letztere Annahme erscheint jedoch insofern nicht gerechtfertigt, als selbst dann, wenn sich durch den Nadelabfall auf dem berechten Bodens eine dünne Decke bildet, die Verdunstung aus diesem dennoch grösser ist als aus dem mit einer Moosdecke versehenen (S. 320). Der geringere Feuchtigkeitsgehalt des geschonten Bodens wird vielmehr, abgesehen von dem erschwerten Eindringen schwacher Niederschläge in denselben, vornehmlich darauf zurückgeführt werden können, dass durch die Erhaltung der Bodendecke das Wachsthum der Bäume und die durch diese veranlasste Wasserentnahme aus dem Boden eine entsprechende Steigerung erfährt (S. 324).

Dafür, dass der geschonte Boden, besonders wenn derselbe von Hause aus arm an Nährstoffen ist, einen höheren Zuwachs aufzuweisen hat als der berechte, sprechen deutlich folgende von *Schwappach*[3]) ermittelte Zahlen:

	Höhenzuwachs			Massenzuwachsprocente.		
	1856/65.	1866/76.	1877/86.	1856/65.	1866/76.	1877/86.
Unberechte Fläche	0,29 cm	0,21 cm	0,15 cm	17,90	8,48	5,65
Jährlich berechte Fläche	0,27 „	0,15 „	0,11 „	16,43	5,97	4,57.

Diese Zahlen documentiren einen erheblichen Rückgang des Bestandes durch zwanzigjährige Streunutzung für die vorliegenden Verhältnisse. Von den bayerischen Streuversuchsflächen theilt *E. Ebermayer*[4]) folgende Resultate über den Zuwachsverlust der Rothbuchen auf den jährlich berechten Flächen mit:

Forstamt Gefaell (Röhn); 90jähriger Buchenbestand auf Basaltboden; I. Bonitätsklasse: Holzverlust von 1866—1892 = **8,1%**;

Forstamt Hundelshausen (Steigerwald) 125jähriger Bestand auf sandigem Lehmboden des Keupers; II. Bonitätsklasse: Zuwachsverlust von 1862—1892 = **32,2%**;

Forstamt Höchberg (bei Würzburg); 76jähriger Bestand auf kalkigem Lehmboden des Muschelkalkes; III. Bonitätsklasse: Holzverlust von 1861—1888 = **38,8%**;

Forstamt Rothenbuch (Spessart); 66jähriger Bestand auf lehmigem Sandboden des Buntsandsteins; III. Bonitätsklasse: Holzverlust von 1861—1888 = **41,87%**;

---

[1]) *E. Ramann.* Die Waldstreu u. s. w. S. 65 und 92.

[2]) Ebenda. S. 70 u. 91.

[3]) Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 1887. S. 401. — *E. Ramann.* Die Waldstreu u. s. w. S. 78.

[4]) *E. Ebermayer.* Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift. 1894.

Forstamt Wiesen (Spessart); 70jähriger Bestand auf lehmigem Sandboden des Buntsandsteins; III. Bonitätsklasse: Holzverlust von 1862—1892 = **55,8%**;

Forstamt Hain (Spessart); 140jähriger Bestand auf lehmigem Sandboden des Buntsandsteins; Bonitätsklasse zwischen III und IV: Holzverluste von 1861—1888 = **50,32%**;

Forstamt Hundelshausen; 91jähriger Bestand auf steinigem sandigen Lehm des Keupers; IV. Bonitätsklasse: Holzverlust von 1862—1892 = **39,0%**.

Welchen ausserordentlich ungünstigen Einfluss die periodische Streuentnahme auf das Wachsthum der Rothbuche hat, ergiebt sich in eclatanter Weise aus diesen Zahlen, welche gleichzeitig darthun, dass die betreffenden Schädigungen im Allgemeinen um so grösser sind, je geringwerthiger die Bodenart ist. Während z. B. die Rothbuchen im Spessart bei jährlichem Streuentzug einen Holzverlust von 40—55% zeigten, betrug dieser für die gleiche Holzart auf dem sehr kräftigen Basaltboden in der Rhön nur 8%. Im Uebrigen ist den Mittheilungen *Ebermayer*'s zu entnehmen, dass der Holzzuwachs um so geringer ist, je öfter die Streuentnahme erfolgt. Dies ergiebt sich daraus, dass z. B. im Forstamt Hain der Holzverlust in 27 Jahren auf der jährlichen berechten Fläche 50,32%, auf der im 6jährigen Turnus berechten Fläche dagegen nur 10% betrug; ebenso wurde im Forstamt Rothenbuch auf der jährlich benutzten Fläche ein Holzverlust von 41,87%, auf dem im dreijährigen Turnus berechten Boden aber nur ein Verlust von 13,28% beobachtet.

Diese und anderweitige Beobachtungen[1]) führen zu dem Resultat, dass der schädliche Einfluss der Streuentnahme auf das Wachsthum der Bäume sich um so mehr geltend macht, je ärmer der Boden an Nährstoffen, je grösser sein Durchlässigkeitsvermögen für Wasser ist und je öfter die Bodendecke entfernt wird.

Hieraus wird die Schlussfolgerung abgeleitet werden dürfen, dass die Streuentnahme auf allen armen, besonders sandigen Böden, füglich zu unterlassen ist, dass dieselbe aber in mässigem Umfange auf reichen und bindigen Böden zulässig erscheint. In letzteren ist die Menge der Nährstoffe eine so grosse, dass sie das vieltausendfache jener in den Streumaterialien enthaltenen ausmacht. Dazu kommt, dass auch die Auswaschung werthvoller Bestandtheile unter solchen Verhältnissen geringer ist als bei Böden ersterer Kategorie, weil die Absickerung des Wassers in die Tiefe vergleichsweise in einem viel geringeren Grade erfolgt.

Die Entnahme eines mehr oder weniger grossen Theils der Streudecke erscheint andererseits in allen jenen Fällen geboten, wo die Bodendecke eine übermässige Mächtigkeit oder eine die chemischen Processe im Boden nachtheilig beeinflussende Beschaffenheit besitzt. Wie an einer anderen Stelle (S. 322) nachgewiesen wurde, wird nämlich bei übermässig starken Moospolstern dem Boden leicht ein Schaden dadurch zugefügt, dass ein mehr oder weniger grosser Theil für die Durchfeuchtung des Bodens verloren geht, indem dieser von der Bodendecke aufgenommen und wieder an die Atmosphäre verdunstet wird. Je nach der Beschaffenheit des Erdreiches und den klimatischen Verhältnissen wird der hierdurch bedingte schädliche Einfluss einer solchen Streudecke sich bereits geltend machen, wenn dieselbe eine Höhe von 5—10 cm überschreitet. Sobald die Moosdecke eine grössere Mächtig-

[1]) *E. Ramann*. Die Waldstreu u. s. w. S. 95.

keit besitzt, wird die Entfernung des überschüssigen Theils für das Wachsthum der Bäume von entschiedenem Vortheil sein.

In Rücksicht auf die Beschaffenheit der Streudecke wurde früher (S. 310) der Beweis geliefert, dass durch dieselbe eine wesentliche Verschlechterung des Bodens herbeigeführt wird, sobald die Abfälle in Rohhumus übergegangen sind. Die Beseitigung aller grösseren Anhäufungen des letzteren muss daher nothwendigerweise einen sehr günstigen Einfluss auf die Fruchtbarkeitsverhältnisse des Waldbodens ausüben, in gleicher Weise wie umgekehrt alle Maassnahmen, durch welche die Bildung aller derartiger Ablagerungen verhindert wird (S. 197).

Neben den bisher aufgestellten Gesichtspunkten kommen noch verschiedene andere in Betracht, welche auf Grund vieljähriger praktischer Erfahrungen bei Beurtheilung der in Rede stehenden Frage berücksichtigt werden müssen.

Die Wirkung der Streunutzung ist ausser von der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens gleichergestalt von der Mächtigkeit und der Lage desselben abhängig. Je flachgründiger der Boden ist, um so grösser werden die Schädigungen sein, welche das Streurechen hervorruft und umgekehrt. Hierbei wird allerdings gleichzeitig der Reichthum des Bodens an Pflanzennährstoffen mit zu berücksichtigen sein. So wird z. B. ein Basaltboden bei geringerer Mächtigkeit die Streuentnahme leichter ertragen als ein Quarzsandboden, welcher bis in grössere Tiefen ansteht, und der schon nach wenigen Jahren die verderbliche Wirkung jener Operation aufweisen wird. Zulässiger ist die Streunutzung, wenn sich in mässiger Tiefe in Sandböden Grundwasser vorfindet, welches durch capillares Aufsteigen den Wurzeln Wasser und Nährsalze zuführt.

Weiters ist die Lage der Waldflächen hinsichtlich der Streunutzung von Belang. In horizontal gelegenem oder wenig geneigtem Terrain wird durch Wegnahme der Streudecke eine Abschlämmung der feinerdigen Bestandtheile nicht hervorgerufen, dagegen ist dies der Fall an steilen Hängen, und zwar in um so grösserem Umfange, je grösser der Neigungswinkel ist, welchen die Fläche mit dem Horizont bildet[1]). Haben sich Rohhumusmassen gebildet, deren Beseitigung im waldbaulichen Interesse gelegen ist, so muss diese unter letzteren Verhältnissen in breiten Streifen, welche thunlichst den Höhencurven parallel laufen, erfolgen.

Bei verschiedener Lage des Bodens gegen die Himmelsrichtung ist die Streunutzung auf den feuchteren Nord- und Westhängen zulässiger als auf den trockeneren Ost- und Südseiten[2]). Auch Kuppen und Hänge, welche austrocknenden Winden ausgesetzt und nur spärlich bestanden sind, müssen besonders geschont und gepflegt werden. An solchen Oertlichkeiten entstehen durch Unterbrechung der Verwesung in Folge von Mangel an Feuchtigkeit sehr leicht Rohhumusablagerungen. Sind solche in grösserer Ausdehnung eingetreten, so wird es in jedem Fall nothwendig sein, zu prüfen, ob eine Beseitigung derselben zulässig ist oder ob durch Culturmaassregeln geholfen werden kann.

Gegen die Entnahme eines mehr oder weniger grossen Theils der in Schluchten und Thälern in erheblicheren Mengen sich ansammelnden Streu ist wohl um so

---

[1]) *E. Wollny.* Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XVIII. 1895. S. 195.

[2]) ***E. Wollny.*** Ebenda. Bd. X. 1887. S. 3.

weniger ein Bedenken zu erheben, als eine derartige Operation unter diesen Umständen eher eine nützliche als eine schädliche Wirkung ausübt.

Ferner ist auch das Nahrungsbedürfniss der Gewächse, welches einerseits durch die besonderen Ansprüche der verschiedenen Species, andererseits durch die Altersstufe derselben bedingt ist, bezüglich der Frage der Zulässigkeit der Streuentnahme mit in das Auge zu fassen. Im Allgemeinen hat das Streurechen auf das Wachsthum der genügsameren Nadelhölzer eine weniger nachtheilige Wirkung als auf dasjenige der nährstoffbedürftigeren Laubhölzer. Im lebhaften Wachsthum befindliche und deshalb nährstoffbedürftigere Bäume (Jung- und Mittelhölzer) werden in ihrem Wachsthum durch die Streunutzung in einem viel höheren Grade geschädigt als in späteren Altersstufen. Das Maximum der jährlichen Nährstoffaufnahme ist bei den verschiedenen Baumarten verschieden und tritt auf ärmeren Bodenarten später ein als auf reicheren. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass die Kiefer etwa im 15.—30. Jahre, die Fichte im 30.—50. Jahre und die Buche im 40.—60. Jahre die meisten Aschenbestandtheile bedarf. Bei der Kiefer sind z. B. die betreffenden Unterschiede in verschiedenem Alter derart, dass der Bedarf derselben im 100. Jahre für gleiche Flächen sich auf noch nicht die Hälfte der im 20. Jahre nothwendigen mineralischen Nährstoffe beläuft. In jüngeren Entwickelungsstadien stellen demnach die Bestände die höchsten Anforderungen an den Boden, weshalb gerade in diesem Alter die Streunutzung von den nachtheiligsten Folgen begleitet ist. Wo daher überhaupt eine Streuentnahme zulässig erscheint, ist diese thunlichst auf ältere, angehend haubare oder haubare Bestände zu beschränken. Hierbei ist jedoch in Betracht zu ziehen, dass jene haubaren Bestände, welche in einigen Jahren zur Verjüngung bestimmt sind, behufs Vorbereitung des Bodens (Erhaltung der Humusdecke) für die Nachzucht geschont werden müssen (*E. Ebermayer*).

Schliesslich darf hinsichtlich der sogen. Waldstreufrage die Art des Betriebes nicht ausser Acht gelassen werden. „Mittel- und Niederwald bedürfen einer grösseren Schonung als Hochwald, weil bei den ersteren Betriebsarten die schwächeren Holzsortimente (Wellen-, Ast- und Prügelholz) den Hauptertrag bilden und zur Production derselben mehr Bodennährstoffe nothwendig sind als zur Bildung des Stammholzes. Dazu kommt, dass bei diesen Wirthschaftsmethoden die Umtriebszeit eine viel kürzere ist und der Boden viel häufiger freigelegt wird als beim Hochwaldbetrieb.“ *(E. Ebermayer.)*

Die Regeln, welche sich nach diesen Darlegungen bezüglich der Streuentnahme aufstellen lassen, können etwa, wie folgt, präcisirt werden:

Das Streurechen ist eine Maassnahme, welche in den meisten Fällen eine Verminderung der Fruchtbarkeit des Waldbodens herbeiführt und nur unter bestimmten Bedingungen zulässig oder geboten erscheint.

Die in Rede stehende Operation ist besonders in denjenigen Fällen ***zu unterlassen***, wo der Boden arm an Nährstoffen ist, eine geringe Mächtigkeit und ein grosses Durchlässigkeitsvermögen für Wasser besitzt, wo die Flächen stärker geneigt oder nach Süden und Osten exponirt sind, ferner, wo die Bäume in lebhaftem Wachsthum begriffen sind, Laubhölzer den Bestand bilden und die Umtriebszeit eine kurze ist (Mittel- und Niederwald).

Eine mässige Streunutzung *ist zulässig* auf allen an Nährstoffen reichen, tiefgründigen, bindigen Bodenarten, an Nord- und Westhängen, in älteren und dichten Beständen, beim Hochwaldbetrieb unter sonst günstigen Wachsthumsverhältnissen.

Eine Streuentnahme in grösserem oder geringerem Umfange *erscheint geboten* bei übermässig mächtigen Moospolstern in Nadelwäldern oder stärkeren Streulagen in Mulden und Thälern, sowie dort, wo Rohhumusablagerungen in grösserem Maassstabe stattgefunden haben.

In jedem Falle ist das Streurechen in kürzeren Zeiträumen zu vermeiden und in den Fällen, wo es nach reiflicher Prüfung der örtlichen Verhältnisse als zulässig erkannt ist, je nach den localen, durch Beschaffenheit des Bodens und des Klimas bedingten Fruchtbarkeitsverhältnissen in einem vier- bis sechsjährigen Turnus vorzunehmen. Hierbei ist die Streuentnahme auf die frische oder theilweise zersetzte Bodendecke zu beschränken, unter möglichster Schonung der eigentlichen Humusschicht. Deshalb dürfen nur hölzerne und keine eiserne Rechen verwendet werden.

Die Zeit des Streurechens ist am besten in die Periode kurz vor dem neuen Laubabfalle zu verlegen[1]).

Im Anschluss an vorstehende Darlegungen über die zweckmässigste Behandlung der Streudecke im Walde erscheint es von Interesse, *die Hilfsmittel gegen die Rohhumusbildungen* kennen zu lernen, nachdem oben (S. 310) gezeigt worden ist, dass letztere einen überaus schädlichen Einfluss auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens ausüben und deshalb an den Stellen, wo sie stattgefunden haben, entfernt werden müssen. Vortheilhafter wird es in Rücksicht auf die mit der Wegnahme des Rohhumus verknüpften Schwierigkeiten offenbar sein, mittelst geeigneter Maassnahmen derartige Bildungen von vornherein zu verhüten.

In Ansehung der Thatsache, dass Rohhumus sich bildet, wenn einerseits die Feuchtigkeit mangelt, andererseits das Wasser im Ueberschuss vorhanden ist, wird gefolgert werden müssen, dass die Dichte des Bestandes, wie solche durch verschiedene Operationen regulirt werden kann, für das Auftreten jener Humusbildungen zunächst von maassgebendem Belang ist. Offenbar werden alle Operationen, durch welche ein normaler Bestandesschluss herbeigeführt wird, geeignet sein, die Rohhumusbildung hintanzuhalten. Es wird daher, besonders in exponirten Lagen dafür Sorge zu tragen sein, eine lichte Stellung der Bäume thunlichst zu vermeiden. Andererseits wird aber auch dort, wo die Flächen wenig der Sonne ausgesetzt sind (verschlossene Tieflagen) und aus diesem Grunde leicht grössere Feuchtigkeitsansammlungen stattfinden, ein entsprechend lichterer Stand der Gewächse herzustellen sein. Ueber die jeweils zu ergreifenden Maassnahmen entscheiden natürlich die localen Verhältnisse. Im Allgemeinen wird dabei das Princip zu beobachten sein,

---

[1]) Die Zweckmässigkeit dieses Verfahrens ist leicht einzusehen, wenn man berücksichtigt, dass in der Zwischenzeit einzelne Mineralstoffe, besonders das Kali aus der Bodendecke durch die meteorischen Wässer ausgelaugt und dem Boden zugeführt werden.

durch geeignete Mittel sowohl einer Austrocknung der Streuschichten als auch einer Anhäufung grösserer Feuchtigkeitsmengen in denselben entgegenzuarbeiten. Wenn es gelingt, einen mittleren, für die Verwesung der Pflanzenabfälle günstigen Feuchtigkeitszustand herzustellen, so wird damit gleichzeitig auch das Thierleben unterstützt, in Folge dessen günstigere Bedingungen für die Zersetzungsvorgänge herbeigeführt werden.

Naheliegend ist auch die Bearbeitung des Bodens behufs Beseitigung der nachtheiligen Wirkungen des Rohhumus, doch kann leider von dieser Maassregel im forstlichen Betriebe kein ausgedehnterer Gebrauch gemacht werden. Immerhin kann auch nach dieser Richtung etwas geschehen und zwar dadurch, dass man Schweine oder Wiederkäuer im Walde weiden lässt. Der Schaden, den diese Thiere durch Verbeissen oder Wurzelverletzungen anrichten, kommt gegenüber dem Nutzen, den sie durch ihre wühlende Thätigkeit, durch die Bodenverwundung und durch das Absetzen ihrer Excremente ausüben, nicht in Betracht.

Von günstiger Wirkung dürften auch Düngungen mit Kalk sein, durch welche die schädlichen Humussäuren gebunden und die Zersetzungsvorgänge der organischen Stoffe in der Streudecke gefördert werden. Diese Maassregel ist bereits mit gutem Erfolge in einigen dänischen Revieren angewendet worden[1]).

Schliesslich wird auch, wenngleich nur in beschränktem Grade, den Rohhumusbildungen durch zweckmässige Wahl der Holzarten entgegengearbeitet werden können. Zwar ist diese den Boden- und klimatischen Verhältnissen entsprechend zu treffen, doch kann man unter gewissen Verhältnissen sich in dieser Beziehung manche Abweichungen von der Regel erlauben. So kann man z. B. an exponirten Stellen für eine günstigere Gestaltung der Bodenpflege sorgen, wenn man die Buche, deren Abfälle besonders zur Rohhumusbildung neigen, im Gemisch mit Lichtholzarten (Kiefer) cultivirt, weil die Abfallstoffe derselben sich hinsichtlich der Zersetzung ungleich günstiger verhalten.

Die nachtheiligen Wirkungen des Rohhumus auf den Boden kommen hier ferner auch in Bezug auf die Ortsteinbildungen in sandigen Böden in Betracht, indem dieselben, wie S. 314 gezeigt wurde, das Wachsthum der Pflanzen in einem ausserordentlichen Grade beeinträchtigen und zwar dadurch, dass sie das Eindringen der Wurzeln in tiefere Schichten, sowie die Wasserbewegung im Boden hemmen. Aus letzterem Grunde wird bei der ***Cultur des Ortsteins*** die Durchbrechung desselben vor Allem in das Auge zu fassen sein, denn, wie leicht begreiflich, werden nur hierdurch die geschilderten Unzuträglichkeiten sich beseitigen lassen. In diesem Falle werden den Wurzeln tiefere, an Mineralstoffen wie an Wasser reichere Schichten zur Verfügung gestellt und dadurch das Wachsthum der Kiefern und Fichten, deren Anbau sich in Rücksicht auf den spärlichen Nährstoffvorrath im Boden unter obwaltenden Verhältnissen am meisten empfiehlt, wesentlich gefördert. Günstig ist auch der Umstand, dass die Ansammlung übermässiger Wassermengen (Nässe) bei grösseren und anhaltenden Niederschlägen und die Austrocknung des Bodens bei länger andauernder regenloser und warmer Witterung nach der Beseitigung des Ortsteins sich nicht mehr geltend machen können.

---

[1]) *E. Ramann.* Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. Berlin. 1893. S. 457.

Das Durchbrechen des Ortsteins wird in verschiedener Weise ausgeführt, entweder mittelst Anlage von Pflanzlöchern oder durch streifenweisen resp. vollen Aufbruch, sowie durch Herstellung von Rabatten[1]).

Bei der Löchercultur wird die Ortsteinlage an den Stellen, wo die Kiefer eingepflanzt wird in 30—40 cm weiten Löchern oder in grösseren längeren Platten durchhackt. Obwohl dieses Verfahren im Vergleich zu den übrigen das billigste ist, so lässt dasselbe den beabsichtigten Zweck doch nur höchst unvollkommen erreichen. Die Pflanzen entwickeln sich zwar in den ersten Jahren erträglich, werden dann aber wipfeldürre und sterben allmählich ab. Die Ursache dieser Erscheinung ist darauf zurückzuführen, dass von den Rändern des Pflanzloches aus eine Ausstülpung der Ortsteinschicht in die tieferen Bodenlagen, deren Mitte der Baum einnimmt, sich nach und nach ausbildet (Topfbildungen. Siehe S. 312), welche das Vordringen der Wurzeln in den Boden hindert. Selbst wenn der Baum ganz gut gedeihen sollte, so findet sich beim nächsten Abtriebe doch an Stelle einer vielleicht schwachen Ortsteinschicht ein tiefer „Topf" und die Neuanpflanzung ist an dieser Stelle ohne tiefgehende Bodenbearbeitung fast unmöglich. Es ergiebt sich sonach, dass die Löchercultur späterhin mit einer dauernden Verschlechterung des Bodens verknüpft ist. Selbst wenn die Cultur gelingt, so haben die späteren Generationen den Schaden zu tragen. Aus diesen Gründen erscheint die Löchercultur auf Ortsteinboden verwerflich.

Nur im alten Waldlande erzielt man mittelst dieses Verfahrens bessere Bestände, wohl deshalb, als in Folge des Streuabfalles grössere Mengen von Mineralstoffen sich im Boden vorfinden und die Beschaffenheit des vorhandenen Humus eine günstigere ist.

Die Rajolcultur kommt in der Weise zur Ausführung, dass der Ortstein entweder vollständig oder streifenweise durchbrochen wird. Ersteres Verfahren ist wegen seiner Kostspieligkeit nicht empfehlenswerth, zumal das zweite, weit billigere, mit einem vollständig genügenden Erfolge verknüpft ist.

Liegt der Ortstein flach, so dass er mit einem Pfluge erreicht werden kann und ist er nicht besonders hart, so ist der Aufbruch der Schicht mit dem Pfluge leicht zu bewerkstelligen. Dabei wird entweder der Ortstein mittelst eines Untergrundpfluges gelockert und in seiner Lage belassen oder mit einem Wendepfluge an die Oberfläche gebracht. Letztere Operation ist in der Regel ersterer vorzuziehen, weil bei blosser Zerkleinerung der Ortsteinschicht ohne Mischung der Bodenpartien in kurzer Zeit eine neue Verkittung der Schicht herbeigeführt wird. Die Streifencultur mit völliger Mischung der Bodenschichten bietet dagegen für die Zukunft eine grössere Sicherheit. Zwar werden sich an den Rändern der Streifen ebenfalls „Töpfe" bilden, wie bei jeder Durchbrechung der Ortsteinschicht, aber während bei der Löchercultur die Töpfe sich schliessen und der einheitliche Zusammenhang des Ortsteins sich wieder herstellt, bleibt bei den Streifen in der Mitte eine erhebliche Fläche des Bodens frei von Ortstein und auf diese Weise ist für lange Zeit, wenn nicht für immer, ein günstiger Pflanzboden vorhanden. Doch dürfen die Streifen nicht zu schmal ge-

[1]) *H. Burckhardt.* Säen und Pflanzen nach forstlicher Praxis. Hannover. 1855. S. 146. — *J. Wessely.* Der europäische Flugsand und seine Cultur. Wien. 1873. S. 203. — *E. Ramann.* Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 1886. Heft 1.

macht werden, um der Möglichkeit vorzubeugen, dass die an den Rändern sich bildenden Töpfe die Bodenschicht schliessen. Nach den vorliegenden Erfahrungen sollen die Streifen mindestens 1 m breit sein, besser ist es jedoch, sie 2 m breit anzulegen.

Wo der Ortstein so tief liegt, dass er mit dem Pfluge nicht erreicht werden kann, muss an Stelle der Spann- die Handarbeit treten. Man hebt zunächst 1—2 m breite Gräben bis zum Ortstein aus, bearbeitet diesen mit der Spitzhacke und bringt ihn gleichfalls an die Oberfläche. Nachdem der Ort verwittert ist, werden die Gräber wieder zugeworfen, wobei der Ort obenauf gebracht wird. Bei näher aneinander liegenden Gräbern wirft man den Grabenausraum in den nächst vorhergehenden Graben und füllt diesen dergestalt aus, dass der Ortstein nach oben zu liegen kommt. Die Rajolstreifen können auch bei weiterer Entfernung derselben von einander in der Weise bearbeitet werden, dass man ein vorgearbeitetes Stück des Grabens sogleich wieder von der nächsten Strecke füllt.

Die Streifencultur in der geschilderten Ausführung verdient den Vorzug vor allen sonst in Anwendung gebrachten Verfahren, weil durch dieselbe den Bäumen nicht allein Gelegenheit geboten wird, mit ihren Wurzeln in die tieferen Schichten des Bodens einzudringen, sondern auch der Boden durch die bei der Verwitterung des Ortsteins gebildeten löslichen Pflanzennährstoffe bereichert wird. Indessen ist dieses Verfahren nur für trockenere Lagen geeignet; bei nassen Böden ist die Rabattencultur angezeigt, weil diese die Entfernung der überschüssigen Feuchtigkeit ermöglicht.

Bei Ausführung der **Rabattencultur** legt man ca. 4—5 m breite Beete an, indem man in dieser Entfernung parallel zu einander liegende Gräben von 1,25—1,50 m Breite anlegt, die bis unter die Ortsteinschicht ausgehoben werden. Den Grabenauswurf benutzt man zur Erhöhung der Rabatten dergestalt, dass der Ortstein die oberste Schicht bildet. Auf diese Weise wird dem Grundwasser ein sehr erleichterter Abfluss verschafft und dadurch zwar die Nässe beseitigt, aber gleichzeitig auch eine Gefahr für die Culturen während trockener Perioden herbeigeführt. Diesem Uebelstande kann durch Anbringung von Stauvorrichtungen in den Gräben begegnet werden. Man gewinnt dadurch die Herrschaft über das Grundwasser und kann den Stand desselben in einer für die Vegetation möglichst vortheilhaften Weise regeln.

Auch bei der Rabattencultur wird an den Rändern eine Topfbildung erfolgen; sind die Gräben jedoch breit genug, so wird eine Schliessung der neugebildeten Schichten nicht stattfinden.

Die Aufforstung derjenigen Strecken, in welchen der „untere braune Ortstein" (*Ramann*) auftritt[1]), ist wegen der grossen Mächtigkeit, tiefen Lage und der schwierigen Verwitterung dieser Bildung nicht räthlich. Selten wird es möglich sein, diese zähen Erdschichten zu durchbrechen; ebenso genügt eine einfache Streifencultur sehr wenig. Nur in Gebieten, die günstige Grundwasserverhältnisse haben,

---

[1]) Dieser untere braune Ort kommt in nassen Haiden vor. Charakteristisch ist seine zähe Beschaffenheit und seine im Vergleich zur gewöhnlichen Form hellere Farbe (gelb bis braun). An die Luft gebracht, widersteht er viel länger der Einwirkung der Atmosphärilien, auch tritt er in viel mächtigeren Schichten auf, als der gewöhnliche Ortstein, von welchem er meist in schwächerer Schicht überlagert ist.

wird der Holzertrag die hohen Culturkosten einigermaassen lohnen. In Rücksicht auf letztere wird man sich jedoch fragen müssen, ob nicht bei gleichem oder geringerem Aufwand durch Feldbau bessere Erträge erzielt werden.

Es erübrigt nunmehr noch, in Kürze die Maassnahmen zu schildern, welche bei der ***Urbarmachung des Waldbodens***, d. h. bei der Ueberführung desselben in Ackerland am zweckmässigsten in Anwendung zu kommen haben. Wo ein derartiger Wechsel in der Benutzung des Bodens sich als vortheilhaft herausgestellt hat, werden die späteren Arbeiten bei der Vorbereitung des Bodens zu den Ackerculturen wesentlich erleichtert, wenn man die Bäume sammt den Wurzeln fällt (Baumroden), und nicht das sogen. Stockroden anwendet, bei welchem der Baum in der Weise umgeworfen wird, dass man ihn zuerst über der Erde abhaut oder durchsägt, und später der in der Erde verbleibende Theil mit dem Stumpf ausgehoben wird. Ersteres Verfahren bietet unter vielen anderen den Vortheil [1]), dass der durch Baumrodung geworfene Stamm den grössten Theil der Wurzeln mit aus dem Boden reisst, die nur mit einem unverhältnissmässig hohen Kostenaufwand hätten ausgehoben werden können.

Die Herrichtung des Bodens nach der Abfuhr kann in verschiedener Weise erfolgen. Die Wahl des einzuschlagenden Verfahrens muss sich natürlich vor Allem nach der Beschaffenheit des Bodens, sowie der auf demselben befindlichen Humusdecke richten. Je besser Boden und Humus sind, um so mehr wird sich ein höherer Aufwand lohnend erweisen, und umgekehrt. Auf Mittelböden (sandige Lehm- und Lehmböden) wird eine durchgreifende sorgfältige Vorbereitung des Landes sich durch die späteren Erträge in den meisten Fällen bezahlt machen, während auf den leichten (lehmigen Sand- und Sandböden) in der Regel nur solche Maassregeln rentabel sind, die keine grösseren Kosten verursachen. Wesentlich mit in Betracht zu ziehen ist hierbei auch die Beschaffenheit der Humusdecke. Besteht diese aus Mull, so ist die Fruchtbarkeit des Bodens weiterhin in höherem Grade gewährleistet als bei dem Vorhandensein von Rohhumus und Torf, welche schwerer der Zersetzung unterliegen und schädliche Stoffe, wie Humussäuren und Eisenoxydulsalze enthalten. In Folge dieser Eigenschaften werden Humusarten letzterer Kategorie bei ihrer Zersetzung weniger Nährstoffe liefern als der Mull, und ohne durchgreifende Veränderungen erfahren zu haben, die Pflanzen nachtheilig beeinflussen. Zur Beseitigung derartiger Missstände werden sich Kalkdüngungen, sowie alle Maassregeln, durch welche die betreffenden Materialien möglichst der Luft ausgesetzt werden, dienlich erweisen.

Die mechanische Bearbeitung des Bodens kann am einfachsten in der Weise erfolgen, dass man das Neuland nach der Abtrocknung im Frühjahr, ohne es zu pflügen, mit schweren Eggen eggt und mit Hafer einsäet. Nachdem dieser eingeeggt ist, werden die zusammengeschleppten Wurzeln abgelesen, worauf das Feld noch einmal geeggt und dann gewalzt wird. Im Herbst wird der Boden gepflügt, der dann im folgenden Frühjahr wiederum mit Hafer bestellt werden kann. Im dritten Jahr wird zweckmässig Grünfutter gebaut. Alle diese Früchte sind besonders dick anzusäen, damit das Unkraut möglichst unterdrückt werde. Bei den späteren Bestellungen können dann die Früchte gewählt werden, welche für die betreffende Bodenart passen.

---

[1]) Vergl. *K. Gayer.* Die Forstbenutzung. Berlin. 1894.

Das Pflügen des zuvor geebneten Neulandes erfordert nicht allein einen ungewöhnlichen Kraftaufwand und die Benutzung sehr stark gebauter Pflüge, sondern ist auch insofern sehr misslich, als diese Werkzeuge leicht brechen. Dabei müssen noch vorhandene stärkere Wurzeln und Steine mittelst Handgeräthen entfernt werden. Die Pflugarbeit könnte allerdings wesentlich erleichtert werden, wenn man den Boden kreuzweise mit einem mit Messern versehenen Instrument durchschneiden würde, weil dadurch wenigstens die Wurzeln für die Ackergeräthe unschädlich gemacht würden. Nach dem Pflügen wird das Land scharf geeggt. Bei den späteren Arbeiten ist hauptsächlich eine gründliche Mischung des Bodens anzustreben, weshalb es sich empfiehlt, statt des Pfluges den Ruhrhaken oder Grubber zu verwenden.

Auf besseren Bodenarten ist das Rajolen des Bodens, wenngleich dasselbe kostspieliger ist, dem Pflügen vorzuziehen. Je nach der Güte des Bodens ist dasselbe bis zu einer Tiefe von 40—90 cm vorzunehmen. Bei diesem Verfahren wird der Boden nicht allein am vollkommensten von Wurzeln und Steinen gesäubert, sondern auch am schnellsten in einen Zustand übergeführt, dass er sogleich mit Früchten bestellt werden kann. Bei dem Rajolen wird ein etwa 90 cm breiter Graben dem Grundstücke entlang angelegt und die Erde aus demselben nach dem entgegengesetzten Ende des Feldstückes gefahren, um damit später den letzten Rajolgraben auszufüllen. Sobald der Graben vollendet ist, wird nach der Seite hin, welche rajolt werden soll, in der Breite, welche der Graben hat, die Humusschicht abgehoben und bei Seite gelegt, die übrige Erde aber in den zuvor aufgezogenen Graben geworfen und alsdann die Humusschicht obenauf gebracht. In dieser Weise wird fortgefahren, bis man am Ende des Feldes angelangt ist. Während der Rajolarbeit werden die vorhandenen Wurzeln gleichzeitig entfernt. Die Arbeiten werden am besten im Frühjahr vorgenommen, nachdem der Frost aus der Erde verschwunden ist, weil der Boden in diesem Falle noch mit einer Sommerfrucht bestellt werden kann.

Die Auswahl der anzubauenden Früchte hat sich vornehmlich nach der Beschaffenheit des Bodens zu richten. Am vortheilhaftesten hat sich der Anbau von Hafer als ersten Frucht erwiesen, dem dann nochmals Hafer, später Grünfutter oder Kartoffeln resp. Roggen zu folgen haben. In der Regel wird dem Boden im zweiten oder spätestens im dritten Jahre eine Düngung gegeben werden müssen, und zwar in Form von künstlichen Düngemitteln, weil Stalldünger, Compost u. s. w. meist nicht vorhanden oder nur mit grossen Kosten herbeizuschaffen sind. In der Mehrzahl der Fälle werden solche Materialien füglich entbehrt werden können, weil der urbar gemachte Waldboden viel Humus enthält und demgemäss reichlich mit stickstoffhaltigen Bestandtheilen versehen ist. Deshalb genügt meistentheils die Zufuhr von Kainit und Thomasphosphatmehl. Nur bei dem Vorhandensein geringer Humusmengen oder in dem Falle, wo die organischen Stoffe schwer zersetzbar sind, wird eine Beigabe von stickstoffreichen Dungmaterialien (Chilisalpeter) sich als nothwendig herausstellen. Wo Rohhumus- und Torfbildungen auftreten, wird bereits im ersten Jahre eine Kalkdüngung vorgenommen werden müssen.

Bei verspäteter Bestellung im Frühjahr baut man am besten als erste Frucht ein Gemisch von Wald- oder Staudenroggen (1 Theil) und Hafer (3 Theile) an. Ersterer hat bekanntlich die Eigenschaft, dass er im Jahre der Aussaat nicht schosst, sondern sich nur bestockt, und erst im folgenden Jahre zur vollen Entwickelung

gelangt. Die Vortheilhaftigkeit dieses Verfahrens besteht darin, dass man dem Boden bei nur einmaliger Bestellung zwei Ernten abgewinnt, nämlich die Hafierernte in demselben und die Roggenernte im nächsten Jahre.

8. Der Pflanzenbau.

Die bei dem Pflanzenbau in Betracht kommenden Gesichtspunkte ergeben sich nach den früheren Darlegungen über die Einwirkung der verschiedenen Culturen auf die für die Zersetzung der organischen Stoffe und die Stickstoffverluste maassgebenden physikalischen Eigenschaften des Bodens (Lockerheit, Wassergehalt, Temperatur) mehr oder weniger von selbst (S. 161), so dass es an dieser Stelle in Bezug hierauf nur einiger Andeutungen bedarf.

Im Voraus sei hier nur daran erinnert, dass die Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur um so mehr herabgedrückt werden und der Verlauf der Zersetzungsvorgänge daher ein um so langsamerer ist, je dichter die Pflanzen stehen, je kräftiger sie sich in ihren ober- und unterirdischen Organen entwickelt haben, je länger ihre Vegetationszeit und je kürzer der Zeitraum zwischen der Aberntung der einen und dem Anbau der folgenden Frucht ist. Am meisten wird daher die Intensität der Zersetzungsprocesse und gleichzeitig die Auswaschung der Nitrate bei der Cultur der perennirenden Futtergewächse herabgedrückt, während auf der anderen Seite die betreffenden Vorgänge bei denjenigen Pflanzen am meisten gefördert sind, welche, wie die Hackfrüchte und verschiedene Handelsgewächse, bei einem weiten Stande angebaut und während ihres Wachsthums behäufelt werden. Die übrigen Nutzgewächse stehen bezüglich ihres Einflusses nach dieser Richtung zwischen jenen beiden Extremen nach Maassgabe der Entwickelung ihrer ober- und unterirdischen Organe, sowie ihrer Lebensdauer.

Neben diesen in mannigfaltiger Weise in die Erscheinung tretenden Einwirkungen werden jene nicht ausser Acht gelassen werden dürfen, welche durch die Dauer der zwischen den einzelnen Culturen gelegenen Brachezeiten bedingt sind. Wie anderwärts (S. 347) nachgewiesen, wird während solcher Perioden die Zersetzung in ausserordentlichem Grade gesteigert, gleichzeitig aber auch unter Umständen der Auswaschung der Nitrate in hohem Grade Vorschub geleistet.

Diesen verschiedenen Momenten muss offenbar bei dem Pflanzenbau Rechnung getragen werden, wenn einerseits die in den organischen Substanzen enthaltenen Nährstoffe in der vollkommensten Weise zur Wirkung gelangen und etwaige Verluste nachhaltig beseitigt werden sollen.

Hinsichtlich des Fruchtwechsels wird es räthlich erscheinen, Pflanzen, bei deren Cultur eine starke Zersetzung der organischen Stoffe im Boden in Folge öfterer Lockerung und weniger dichten Standes oder wegen längere Zeit andauernder Brachehaltung stattfindet, solchen vorangehen zu lassen, welche auf einen reichlichen Vorrath assimilirbarer Stoffe im Boden angewiesen sind (Getreidearten). Durch die Cultur perennirender, schmetterlingsblüthiger Gewächse, durch welche die Menge der organischen Stoffe im Boden eine beträchtliche Steigerung erfährt (S. 188), wird gleichergestalt für das Gedeihen einer besonders nährstoffbedürftigen Nachfrucht Sorge getragen werden können. Durch einen solchen Wechsel im Anbau von in gewissem Sinne „zehrenden“ mit „bereichernden“ Gewächsen wird, abgesehen von anderen hierzu geeigneten Maassnahmen, der Bodenvorrath in ergiebigster Weise ausgenutzt und

dadurch der an die moderne Landwirthschaft zu stellenden Anforderung, die Productionskosten ohne Schmälerung des Ertrages herabzusetzen, mit Rechnung getragen.

Für die Reihenfolge der Früchte wird selbstredend auch die Dauer der Brachezeiten mit in Betracht zu ziehen sein. Wo diese derart sich gestaltet, dass ein Verlust an Nährstoffen befürchtet werden müsste und eine entsprechende Abänderung der Fruchtfolge aus wirthschaftlichen Gründen inopportun erscheint, werden besondere Maassregeln ergriffen werden müssen, wie solche an einer anderen Stelle angegeben sind.

Bezüglich der Cultur ausdauernder Gewächse würde schliesslich nicht ausser Acht zu lassen sein, dass dieselbe neben ihren mannigfachen Vortheilen unter Umständen auch Nachtheile für die Fruchtbarkeit des Bodens mit sich führen kann, namentlich auf den bindigeren Bodenarten. Die Anlage von Weiden, Luzerne- und Esparsettefeldern auf letzteren wirkt häufig insofern ungünstig, als in dem Boden, welcher unter solchen Umständen viele Jahre nicht bearbeitet wird, in Folge der Verdichtung, welche er nach und nach erleidet, die für eine normale Zersetzung der organischen Substanzen nothwendige Luftmenge schliesslich mangelt und Desoxydationsprocesse sich in demselben abspielen, durch welche die Fruchtbarkeit des Bodens eine Einschränkung erfährt. Aus diesen Gründen sind Culturen mit längerer Vegetationszeit auf Böden bezeichneter Art thunlichst zu vermeiden.

III. Die Beeinflussung der Zersetzungsvorgänge bei der Herstellung und Benützung der Düngemittel organischen Ursprungs.

1. Die Excremente der Haussäugethiere.

Die Excremente der Haussäugethiere (Koth und Harn), welche entweder direct, wie bei dem Weidegange und Pferchen, meist aber indirect im Gemisch mit verschiedenen Streumaterialien in Form von Stallmist zur Düngung verwendet werden, besitzen je nach der Thiergattung, von welcher sie abstammen, sowie je nach der Zusammensetzung und Menge der verabreichten Futtermaterialien eine verschiedene chemische und physikalische Beschaffenheit, welche zunächst für die Zersetzungsvorgänge in denselben maassgebend ist.

Für mittlere Verhältnisse kann nach den Angaben von *A. Mayer* [1]) angenommen werden, dass die Excremente der Haussäugethiere etwa folgende Zusammensetzung im Durchschnitt besitzen:

In Procenten.

Bestandtheile.	Schaf.			Pferd.			Rind.			Schwein.		
	Koth.	Harn.	Gemisch.	Koth.	Harn.	Gemisch	Koth.	Harn.	Gemisch.	Koth.	Harn.	Gemisch.
Wasser	65,5	87,5	68,0	75,8	90,0	77,9	83,5	93,8	86,8	79—84	97,5	82—87
Organ. u. flüchtige Substanz	31,4	8,0	28,0	21,0	7,0	19,0	14,6	3,2	11,0	10—15	1,5—2,8	9—14
Darin Stickstoff	0,6	1,9	0,9	0,44	1,5	0,6	0,29	0,6	0,4	0,6—0,7	0,3—0,4	0,5—0,6
Gesammtasche	3,1	4,5	4,0	3,2	3,0	3,1	1,9	3,0	2,2	3—5	1,0—1,5	3—4
Darin Phosphorsäure	0,3	Spur	0,4	0,32	0	0,3	0,17	0	0,13	0,1—0,4	0,1	0,1—0,2
„ Kali	0,15	2,3	1,0	0,35	1,6	0,5	0,1	1,3	0,6	0,3	0,7—0,8	0,5

[1]) *A. Mayer.* Die Düngerlehre. Heidelberg. 1895.

Aus diesen Zahlen kann, abgesehen von Schwankungen, welche je nach Nutzung und Fütterung der Thiere in der Zusammensetzung der Ausscheidungen sich geltend machen, im Allgemeinen geschlossen werden, dass die Excremente der Schafe die wasserärmsten aber nährstoffreichsten sind, dann folgen jene der Pferde, während die Ausscheidungen des Rindes und noch mehr diejenigen der Schweine die grössten Wassermengen enthalten, andererseits aber den geringsten Gehalt an organischen, mineralischen nnd besonders an stickstoffhaltigen Bestandtheilen besitzen. Entsprechend der verschiedenen Concentration der Ausscheidungen stellt sich die Intensität der Zersetzungsvorgänge; am schnellsten zersetzen sich die Ausleerungen des Pferdes und des Schafes, nur langsam jene des Rindviehes und am langsamsten die des Schweines. Für diese Unterschiede, welche übrigens auch für die aus den Ausscheidungen der Thiere hergestellten Mistsorten Giltigkeit haben, sind aber nun nicht allein die chemischen, sondern auch die physikalischen Eigenschaften der Ausscheidungen belangreich. Die schnelle Zersetzung, welchen die Bestandtheile der Ausleerungen des Pferdes unterliegen und welche so gross ist, dass durch dieselbe eine starke Erwärmung des betreffenden Düngers hervorgerufen wird, ist dadurch bedingt, dass die festen Excremente eine lockere wenig zusammenhängende Masse bilden und demgemäss eine grosse Porosität besitzen. In gleicher Weise ist der schnelle Zerfall der Schafexcremente nicht nur auf die hohe Concentration und den Stickstoffreichthum des Harnes, sondern auch darauf zurückzuführen, dass die festen Auswurfstoffe einen geringen Wassergehalt besitzen und der Luft eine grosse Oberfläche darbieten. Die Schwerzersetzbarkeit des Rindviehkothes ist ausser von der breiigen wässrigen Beschaffenheit besonders dadurch bedingt, dass er schleimige Bestandtheile enthält, die bei der Austrocknung auf der Oberfläche eine die Luft abschliessende Kruste bilden. Aehnliche Momente sind auch für das Verhalten der Schweineexcremente bei der Zersetzung von Einfluss.

Die Menge der werthbildenden Bestandtheile in den Ausleerungen ist abhängig von der Menge und Zusammensetzung des verabreichten Futters und der zur Bildung von thierischen Producten verwendeten Substanzen. Im Allgemeinen ist der Dünger um so reicher an Nährstoffen, je grösser der Gehalt des Futters an solchen ist und umgekehrt. Dies gilt nicht nur für die relativen, sondern auch für die absoluten Mengen der ausgeschiedenen Stoffe, sowie auch für die thierische Producte liefernden Thiere, weil nach einem allgemeinen Ernährungsgesetz eine gesteigerte Production mit einem entsprechenden Umsatz der Stoffe im Thierkörper Hand in Hand geht. Im Uebrigen erweist sich die Nutzung der Thiere maassgebend für die Menge der in den Ausleerungen enthaltenen Bestandtheile. Bei Arbeitsthieren (Pferde, Arbeitsochsen) und Wolle producirenden Thieren (Wollschafe), — welch letztere hierher gerechnet werden können, weil die Menge der in der Wolle im Vergleich zu der im Futter enthaltenen Stoffe äusserst gering ist, — erscheinen alle Stickstoff- und sämmtliche Mineralbestandtheile in den Ausscheidungen wieder. Bei dem Jung-, Milch- und Mastvieh, sowie bei den trächtigen Mutterthieren fehlen in den Ausleerungen jene Bestandtheile des Futters, welche zur Erzeugung von thierischen Producten (Körperzuwachs, Milch) verwendet wurden.

Hinsichtlich der näheren Zusammensetzung der Excremente ist es von Wichtigkeit zu wissen, dass die stickstoffhaltigen Bestandtheile des Kothes sich vornehmlich in Form von Eiweissstoffen und deren Derivaten vorfinden, welche sich ungleich

schwieriger zersetzen als jene des Harnes, die fast ausschliesslich als Hippursäure (pflanzenfressende Haussäugethiere) oder als Harnstoff (Schwein) auftreten. Diese unterliegen sehr bald nach der Entleerung des Harnes einer Gährung (S. 15 und 16), welche die Bildung von flüchtigem kohlensauren Ammoniak zur Folge hat. Dadurch ist die Veranlassung zu einem Verlust an einem höchst werthvollen Nährstoff gegeben. In dieser Beziehung ist die Thatsache beachtenswerth, dass die betreffenden Zersetzungserscheinungen um so schneller vor sich gehen, als der Harn eine höhere Concentration besitzt. Aus diesem Grunde erfolgt die Umwandlung der stickstoffhaltigen Bestandtheile des Harnes der Pferde und der Schafe weit rascher als je des Rindvieh- und Schweineharnes.

Zieht man die übrigen Bestandtheile mit in Betracht, so gelangt man zu dem Schluss, dass in Rücksicht auf die Ernährung der Pflanzen der Harn werthvoller ist als der Koth, indem er mit reichlicheren Mengen leicht aufnehmbarer Stickstoffverbindungen sowie von Kali versehen ist als dieser, mit Ausnahme der Phosphorsäure, die bei den pflanzenfressenden Hausthieren nur in den festen Ausscheidungen enthalten ist. Für die Stallmistbereitung wird hieraus gefolgert werden müssen, dass ein vollständiger, alle Nährstoffe enthaltender Dünger nur bei sorgfältiger Sammlung beider Auswurfstoffe des Thierkörpers gewonnen werden kann. Die Wirkung derselben ist dabei insofern eine verschiedene, als der Harn vornehmlich, wenn auch nicht ausschliesslich, die ernährenden Eigenschaften des Stalldüngers bedingt, während der Koth, wegen der ungleich langsameren Zersetzung seiner Bestandtheile, besonders durch seinen Einfluss auf die Humusbildung zur Geltung gelangt.

Die Sammlung der Excremente der Haussäugethiere wird fast überall durch die Einstreu bewirkt, welche in der Regel als Stroh oder pflanzliche Abfälle von ähnlicher Beschaffenheit zur Anwendung gelangt. Diese Materialien dienen aber nicht allein dazu, die Excremente der Thiere aufzusaugen, festzuhalten und so zur vollkommenen Gewinnung derselben beizutragen, sondern werden auch zu dem Zweck benutzt, die schnelle Zersetzung der Excremente zu mässigen und die Masse an humusbildenden Stoffen zu bereichern.

Gegenüber den thierischen Ausscheidungen besitzen die Streumaterialien eine ungleich geringere Zersetzungsfähigkeit. Letztere erfährt jedoch eine Steigerung, sobald dieselben mit jenen gemischt werden. Im Uebrigen ist die Zersetzungsfähigkeit der Streusorten selbst eine sehr verschiedene. Von den meistentheils in Anwendung kommenden unterliegt das Stroh der Leguminosen wegen seines höheren Gehaltes an stickstoffhaltigen Bestandtheilen am leichtesten dem Zerfall, doch wird dasselbe besser durch Verfütterung verwerthet. Weniger zersetzbar ist das stickstoffärmere Stroh der Getreidearten und des Rapses, und noch widerstandsfähiger als dieses die Waldstreu (Blätter und Nadeln der Waldbäume). Am meisten erweist sich die Torfstreu, trotz ihres hohen Gehaltes an stickstoffhaltigen Bestandtheilen den Zersetzungsfactoren gegenüber resistent, derart, dass der Stickstoff und die Mineralstoffe, wie solche durch die Analyse nachgewiesen werden, in Bezug auf die Bereicherung des Düngers nicht in Anrechnung gebracht werden dürfen (S. 115 und 204). Dies gilt aber nicht von den übrigen, oben angeführten Streumaterialien, welche, ausserdem, dass sie den Gehalt des Düngers an organischen, humusbildenden Substanzen vermehren, auch durch die bei ihrer Zersetzung entstehenden assimilirbaren Nährstoffe

zu einer Erhöhung der absoluten Menge der ernährend wirkenden Bestandtheile in der Masse beitragen.

Hinsichtlich der Menge von organischen Substanzen, sowie von Pflanzennährstoffen, welche dem Stalldünger durch die Streumaterialien zugeführt werden, gewähren folgende Zahlen nach *A. Mayer*[1]) einen ungefähren Anhalt:

Bestandtheile.	Getreide-stroh. %	Erbsen-stroh. %	Bohnen-stroh. %	Rohr-schilf. %	Riedgräser, Binsen. %	Haide-kraut. %	Baumlaub herbstlich. %	Fichten- u. Kiefern-nadeln frisch. %
Wasser	12—21	12—17	14—22	18	14	20	13—15	47,5
Organische Substanz	75—83	82—83	76	78	79—81	76	78—81	52
Stickstoff	0,3—0,9	2,0	1,7	1,4	2,0	1,0	0,8—1,4	0,5—0,9
Kali	0,5—1,1	1,1	1,8	0,3	1,7—2,3	0,5	0,15—0,4	0,03—0,1
Phosphorsäure	0,2—0,3	0,4	0,3	0,1	0,3—0,5	0,2	0,2—0,3	0,1—0,2
Asche	3—8	3—4	5—9	3,9	4,6—7,0	3,6	4,2—5,7	0,8

Das verschiedene Verhalten der als Streumaterialien verwendeten pflanzlichen Abfälle ist nicht nur durch deren Gehalt an stickstoffhaltigen Stoffen bedingt, sondern auch durch die ihnen eigenthümliche physikalische Beschaffenheit, welche gleichzeitig für ihre grössere oder geringere Fähigkeit, die thierischen Ausscheidungen festzuhalten und im Gemisch mit denselben eine zusammenhängende Masse zu bilden, maassgebend ist. In dieser Beziehung, sowie hinsichtlich der Beschaffenheit des Düngers entspricht wohl das Stroh, namentlich der Getreidearten, am besten den zu stellenden Anforderungen, weil dasselbe einerseits mittelst der röhrenartigen Halme und der Hohlräume, welche bei dem Aneinanderlegen der Stengel sich bilden, die werthvollen flüssigen Ausscheidungen in vollkommener Weise aufzusaugen, und andererseits wegen der Consistenz der Halme auch das Festhalten der festen Excremente vorzüglich zu bewirken vermag. Die losen Blätter und Nadeln der Waldstreu stehen hierin dem Stroh bei Weitem nach, nicht etwa weil dieselben zur Aufsaugung des Harnes weniger geeignet wären, sondern insofern, als sie, indem sie sich dicht aneinander legen, mit den Excrementen eine Masse bilden, die einerseits für Luft schwer zugänglich ist und andererseits nur einen geringen Zusammenhang besitzt, wodurch der Transport und die weitere Behandlung derselben wesentlich erschwert werden.

Behufs vollkommener Aufsammlung der Excremente sind pro erwachsenes Thier täglich erforderlich:

Schaf.	Pferd.	Rind.	Schwein.
0,25—0,35 kg	2—3 kg	4—6 kg	3,5—4 kg.

Bei Benützung der Torfstreu werden benöthigt:

—	2,5 kg	3—3,5 kg	1—2 kg.

In stroharmen Jahren empfiehlt es sich, die Stroh- mit der Torfeinstreu in der Weise zu combiniren, dass letztere vornehmlich zum Aufsaugen der flüssigen Ausscheidungsproducte verwendet wird.

Im Uebrigen ist behufs sorgfältiger Sammlung der Excremente dafür Sorge zu tragen, dass der Stand der Thiere, die zur Fortleitung des flüssigen Theils be-

[1]) *A. Mayer*. Lehrbuch der Agriculturchemie. Heidelberg. 1886. Bd. II. S. 186 u. 187.

stimmten Rinnen, der Boden der Dungstätte u. s. w. vollständig wasserdicht hergestellt werden[1]).

Der in der beschriebenen Weise hergestellte und sich allmählich in grösserer Menge ansammelnde Stalldünger erleidet in der Folge unter dem Einfluss zahlreicher Mikroorganismen Veränderungen, die nicht nur ein wissenschaftliches, sondern auch insofern ein hervorragend praktisches Interesse gewähren, als die Zusammensetzung und demnach die Wirkung des Düngers je nach dem Verlauf der betreffenden Processe sich sehr verschieden gestalten. Dafür, dass man den Stallmist in der Mehrzahl der Fälle nicht im frischen Zustande verwendet, sondern ihn längere oder kürzere Zeit aufbewahrt, spricht vornehmlich der Umstand, dass die nicht oder doch nur wenig zersetzte Masse eine relativ geringe Menge von aufnehmbaren Nährstoffen enthält und dass die letztere erst sich vermehrt in dem Grade, als die organischen Bestandtheile dem Zerfall unterliegen. Eine durchgreifend ernährende Wirkung wird der Stalldünger deshalb erst dann besitzen, wenn die Zersetzung in demselben innerhalb gewisser Grenzen vorgeschritten ist. In keinem Falle aber darf die Zersetzung in einer solchen Weise vor sich gehen, dass der grösste Theil der organischen Substanzen durch Verflüchtigung in Verlust geräth, weil ja der Stalldünger nicht nur durch seine löslichen Bestandtheile ernährend, sondern auch durch seine nicht gelösten (organischen) humusbildend, also bodenverbessernd einwirken soll, abgesehen davon, dass man bei seiner Anwendung eine länger andauernde Wirkung hervorrufen will, die nur möglich ist, wenn ein mehr oder weniger grosser Theil der organischen Stoffe bei der Aufbewahrung des Düngers erhalten bleibt. In Rücksicht hierauf, sowie in dem Betracht, dass der Grad der Zersetzung, bei welchem der Stalldünger in Anwendung zu kommen hat, nach der Beschaffenheit des Bodens und den Ansprüchen der Gewächse zu bemessen ist, sowie ferner, dass bei den in der Masse eintretenden Veränderungen der verschiedenen Bestandtheile leicht namhafte Verluste an wichtigen Nährstoffen, besonders an Stickstoff eintreten, muss es im hohen Grade wünschenswerth erscheinen, Maassregeln ausfindig zu machen, mit deren Hilfe man im Stande ist, die vollständige Herrschaft über die Zersetzungsvorgänge in dem Stalldünger zu erlangen.

Das Grundprincip, welches hierbei zu beobachten ist, ergiebt sich aus den Eingangs dieses Abschnittes aufgestellten Gesichtspunkten. Offenbar wird man daran festhalten müssen, dass bei der Behandlung des Stalldüngers die Zersetzungsprocesse in der Weise zu beeinflussen seien, dass diese in Form der Verwesung vor sich gehen können, und dass alle Umstände beseitigt werden müssen, welche die Fäulniss herbeizuführen geeignet sind. Nur in ersterem Fall wird es möglich sein, einen Dünger zu gewinnen, welcher einerseits die Nährstoffe in einem leicht aufnehmbaren Zustande und die humosen Bestandtheile von einer Beschaffenheit enthält, bei welcher diese weiterhin in einfache chemische Verbindungen überzugehen vermögen, während bei der Fäulniss ein mehr oder weniger grosser Theil der organischen Substanzen in nicht oder schwer zersetzbare Verbindungen übergeht, so dass die eingeschlossenen Nährstoffe nicht zur vollen Wirkung gelangen können (S. 8). Dazu kommt, dass in der verwesenden Substanz keine Abspaltung elementaren Stickstoffs stattfindet, oder dass,

[1]) Vergl. *F. Engel.* Handbuch des landwirthschaftlichen Bauwesens. Berlin. 1895. S 409.

wenn eine solche wirklich erfolgen sollte, der auf diese Weise entstehende Verlust sehr gering ist, dass hingegen in der faulenden Masse jener Process in grösserem Umfange stattfindet und dadurch eine nicht unwesentliche Verminderung des Stickstoffvorrathes herbeigeführt wird (S. 12). Dass auch unter der Einwirkung des Sauerstoffs (Verwesung) die von *R. Burri* und *A. Stutzer* entdeckten nitratzerstörenden Bacterien (S. 32) grössere Mengen freien Stickstoffs abspalten, ist bis jetzt nicht erwiesen und um so unwahrscheinlicher, als die Nitratbildung in einer Masse, die ausschliesslich aus organischen Substanzen besteht, nur langsam verläuft und gegenüber der Ammoniakbildung, die unter solchen Umständen hauptsächlich stattfindet, geringfügig ist (S. 101).

Bei der in der Praxis meist üblichen Behandlung des Stalldüngers auf der Dungstätte finden gewöhnlich beide Processe statt, nämlich Verwesung in den oberen, lockeren, der Luft zugänglichen Schichten, und Fäulniss in den fest zusammengelagerten, in der Regel mit Wasser und Jauche gesättigten unteren Partien. In letzteren ist die Nässe auch dann vorhanden, wenn das im Hofe sich ansammelnde Wasser von der Dungstätte abgehalten wird und nur dasjenige Wasser zu der Dungmasse gelangt, welches durch die atmosphärischen Niederschläge zugeführt wird, weil die in die Tiefe eindringende Flüssigkeit sich auf dem undurchlässigen Untergrunde ansammelt und von dort auf der geneigten Oberfläche nur äusserst langsam abgeführt wird wegen geringer Permeabilität der betreffenden Düngerschichten. Grössere Verluste durch Entbindung von elementarem Stickstoff in den der Fäulniss unterliegenden Schichten sind unter derartigen Verhältnissen insofern unvermeidlich, als die aus den höheren Partien ausgewaschenen und den unteren zugeführten Nitrate durch die in diesen enthaltenen denitrificirenden Bacterien (S. 62) zerstört werden.

Aus solchen, wie den vorstehenden, Darlegungen könnte die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass die Herbeiführung eines möglichst lockeren Zustandes der Dungmasse am vortheilhaftesten sei, weil hierdurch der zu einer kräftigen Verwesung erforderliche Luftzutritt in der vollkommensten Weise herbeigeführt werden könne. Dies würde aber insofern unzweckmässig sein, als unter derartigen Umständen durch die äusserst rapid verlaufende Verbrennung ein grosser Theil der organischen Substanz zerstört werden würde[1]), ganz abgesehen von den sonstigen in Folge der ausserordentlichen Durchlüftbarkeit der Dungmasse eintretenden Verlusten (siehe unten). Um Unzuträglichkeiten dieser Art zu begegnen, wird es nothwendig sein, den Luftzutritt zu dem Stalldünger durch feste Lagerung soweit zu beschränken, dass zwar noch eine langsame Verwesung stattfinden kann, ein vollständiger Abschluss der Luft aber behufs Verhinderung des Eintrittes von Fäulnisserscheinungen hintangehalten wird. Um dies sicher zu erreichen, wird dafür Sorge zu tragen sein, dass einerseits nach dem Ausmisten die Dungmasse gleichmässig ausgebreitet und festgetreten, andererseits aber jede Ansammlung übermässiger Feuchtigkeitsmengen in den Hohlräumen vermieden werde. Unter diesen Bedingungen bleibt der Dünger bis in grössere Tiefen der Luft zugänglich und wird die Fäulniss verhindert. Allerdings sind zum Theil die betreffenden Maassnahmen im Vergleich zu den in der Praxis üblichen zu modificiren.

[1]) Vergl. *R. Heinrich.* Zweiter Bericht über die Verhältnisse und Wirksamkeit der landwirthschaftlichen Versuchsstation zu Rostock. Berlin. 1894. S. 239.

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass die Erhaltung eines gewissen Luftquantums in dem Stalldung nur möglich ist, wenn zur Einstreu Getreidestroh und dieses in genügender Menge verwendet wird. Bei Benützung von Waldstreu wird fast immer die Masse so dicht, dass sie für Luft undurchdringlich ist. Die Erhaltung eines mittleren und gleichmässigen Feuchtigkeitsgrades wird am besten dadurch erzielt, dass man die Verdunstung thunlichst beschränkt und andererseits den Zutritt grösserer Flüssigkeitsmengen hindert. Beide Bedingungen werden dort erfüllt, wo der Dünger unter den Thieren liegen bleibt, weil die Masse der Einwirkung der äusseren Verdunstungsfactoren, sowie der atmosphärischen Niederschläge entzogen ist. Weniger günstig gestalten sich die Feuchtigkeitsverhältnisse in dem im Freien aufbewahrten Dünger, indem diese je nach den Witterungsverhältnissen nicht allein grossen Schwankungen unterworfen sind, sondern auch in den tieferen Schichten anomale Zersetzungserscheinungen herbeiführen. Zur Erhaltung eines gleichmässigen Feuchtigkeitsgehaltes wird das Befeuchten oder die Bedeckung der Dungmasse mit einer dünnen Stroh-, Erd- oder Torfstreuschicht bei eintretender Trockenheit sich nützlich erweisen, während zur Beseitigung eines Flüssigkeitsüberschusses in den unteren Schichten solche Vorkehrungen zu treffen sind, mittelst welcher die Absickerung in die Tiefe in möglichst vollkommener Weise bewerkstelligt werden kann.

Um allen in dieser Richtung zu stellenden Anforderungen zu genügen, dürfte es zweckmässig sein, den Stalldünger sowohl auf der Dungstätte als auch dort, wo er im Stall selbst angesammelt wird, auf einem Rost aufzuschichten und unter diesem einen Raum anzubringen, der seitlich und unten mit einem wasserdichten Mauerwerk abgeschlossen ist. Dem Boden wäre nach der Mitte zu ein Gefälle zu geben, damit die an der tiefsten Stelle sich ansammelnde Jauche durch eine hier anzulegende Rinne abgeführt werden könnte. Mittelst einer derartigen Vorrichtung wird es möglich sein, die Ansammlung übermässiger Feuchtigkeitsmengen hintanzuhalten und der Luft innerhalb gewisser Grenzen Zutritt zu der Stalldungmasse zu verschaffen. Bei dem gewöhnlich üblichen Verfahren, wo der Dünger direct auf der undurchlässigen Unterlage aufruht, ist, wie bereits oben angeführt wurde, der Abzug der in tieferen Schichten sich anhäufenden Flüssigkeit selbst dann gehindert, wenn die Flächen eine Neigung erhalten und zwar, weil die seitliche Bewegung der Jauche ausserordentlich erschwert ist.

Für die Herbeiführung günstiger Zersetzungsbedingungen erscheint weiters die Mischung der verschiedenen Stallmistsorten in Rücksicht auf deren verschiedene Neigung zur Fäulniss geboten, wenn nicht besondere Umstände (verschiedene physikalische Beschaffenheit des Ackerlandes) eine gesonderte Ansammlung derselben als räthlich erscheinen lassen. Von den verschiedenen Dungsorten geben die sehr wasserhaltigen der Rinder und Schweine besonders leicht Veranlassung zu Fäulnissvorgängen. Werden dieselben aber mit dem trockeneren und lockereren Pferdemist gemengt, so erhält die Dungmasse eine Beschaffenheit, welche der Verwesung ungleich mehr Vorschub leistet als jene der vorbezeichneten wässerigen Materialien.

Im Uebrigen ist bei rationeller Behandlung der aufgespeicherten Dungmassen für die Erhaltung eines mittleren Feuchtigkeitsgrades Sorge zu tragen, d. h. bei eintretender Austrocknung, welche in gleicher Weise schädlich auf die Zersetzungsvorgänge wirkt wie eine Durchnässung (S. 197), muss mittelst der Jauche von oben her der Stalldünger entsprechend angefeuchtet werden.

Mit den bisher besprochenen Maassregeln, welche die Herbeiführung normaler Zersetzungsbedingungen bezwecken, wird man sich jedoch nicht begnügen dürfen, weil mittelst derselben der auch unter solchen Verhältnissen eintretende Stickstoffverlust keineswegs beseitigt und ausserdem die Regulirung des Ganges der Zersetzung noch nicht in wünschenswerther Weise erreicht wird. Zu letzteren Zwecken bedarf es vielmehr weiters der Anwendung chemischer Mittel, ohne welche eine rationelle Stallmistpflege nicht denkbar ist.

Die in dieser Richtung vorgeschlagenen Conservirungsmethoden sind dazu bestimmt, einerseits den Verlust an Stickstoff, wie solcher durch Verflüchtigung des bei der Gährung der stickstoffhaltigen Harnbestandtheile sich bildenden kohlensauren Ammoniaks, event. durch Abspaltung des Stickstoffs im elementaren Zustande hervorgerufen wird, zu verhindern, und andererseits den Verlauf der Zersetzungsvorgänge zu beherrschen. Bei Anwendung der betreffenden Mittel werden diese verschiedenen Zwecke einseitig oder insgesammt erreicht. Soweit die bisherigen diesbezüglichen Untersuchungen[1]) einen Einblick in diese zum Theil äusserst complicirten Verhältnisse gewähren, kann man für die vorliegende Frage folgende Schlussfolgerungen ableiten.

Für die Bindung des flüchtigen kohlensauren Ammoniaks ist die Benutzung von Mineralsäuren (Schwefelsäure und Salzsäure) sehr naheliegend; gleichwohl wird, trotzdem hierdurch der beabsichtigte Zweck in vollkommenster Weise erreicht wird, wegen der Gefährlichkeit im Gebrauch und Beschädigung der Wände der Jauchebehälter, von einer allgemeineren Verwendung dieser Säuren Abstand genommen werden müssen.

Hinsichtlich der Wirkung des Gipses, welcher von den Conservirungsmitteln am längsten in Gebrauch ist, haben die einschlägigen Versuche ein von einander abweichendes Resultat ergeben. Während die Versuche von *H. Grouven* (Landw. Centralblatt von Wilda 1861, S. 283) und *R. Heinrich* lehrten, dass die vorausgesehene Umsetzung des kohlensauren Ammoniaks und schwefelsauren Kalkes in schwefelsaures Ammoniak und kohlensauren Kalk durch das Bestreuen des Düngers mit Gips vollkommen erzielt werde, haben andere Forscher, wie *H. Immendorff*, *Müntz* und *Girard*, sowie *A. Stutzer* und seine Mitarbeiter gefunden, dass der Gips nur eine gewisse Menge von Ammoniak zu binden im Stande sei, jedoch noch viel Ammoniak entweichen lasse. Hieraus wird geschlossen werden können, dass für die Wirksamkeit des Gipses sehr wahrscheinlich äussere Umstände von maassgebendem Einfluss sind. Als solche sind möglicherweise zu bezeichnen die Beschaffenheit des Gipses und die Art seiner Benutzung. Der gewünschte Erfolg mag dann erreicht werden, wenn der Gips feinkörnig genug ist und längere Zeit mit dem Dünger in Berührung kommt, was am besten dadurch erreicht wird, dass man

[1]) Vergl. besonders: ***F. Holdefleiss.*** Untersuchungen über den Stallmist. Breslau. 1889. — ***Müntz*** und ***Girard.*** Die Stickstoffverluste im Stallmist und deren Verminderung. Referat erstattet von ***J. H. Vogel.*** — ***H. Immendorff.*** Journal für Landwirthschaft. Bd. 41. 1893. S. 1. — ***R. Heinrich.*** Zweiter Bericht über die Verhältnisse und Wirksamkeit der landw. Versuchsstation zu Rostock. Berlin. 1894. S. 239. — ***R. Burri, E. Herfeldt*** und ***A. Stutzer.*** Journal für Landwirthschaft. Bd. 43. S. 1. — ***A. Stutzer.*** Leitfaden der Düngerlehre. Leipzig. 1895. S. 34. — ***J. König.*** Wie kann der Landwirth den Stickstoff-Vorrath in seiner Wirthschaft erhalten und vermehren? Berlin. 1893. — ***A. Mayer.*** Die Düngerlehre. Heidelberg. 1895. S. 53.

ihn bereits im Stall über den Mist ausbreitet. Fraglich ist es andererseits, ob der schwefelsaure Kalk nicht dadurch einen mehr oder weniger grossen Theil seines Einflusses verlieren könne, dass derselbe in dem der Fäulniss und nicht der Verwesung ausgesetzten Dünger eine Reduction erfährt (S. 137). Ausserdem sind aber auch Vorgänge möglich, welche die Bindung des Ammoniaks seitens des Gipses wieder aufheben. Dies ist der Fall, wenn kohlensaurer Kalk zugegen ist, der eine theilweise Rückbildung des schwefelsauren Ammoniaks zu kohlensaurem Ammoniak hervorruft, so dass die vier Salze, schwefelsaurer Kalk, schwefelsaures Ammoniak, kohlensaurer Kalk und kohlensaures Ammoniak nebeneinander existiren können *(Müntz* und *Girard).* Ob derartige Eventualitäten an bestimmte Bedingungen geknüpft sind, lässt sich zur Zeit nicht ermessen. Letzteren Punkt anlangend, sei der Vollständigkeit wegen darauf hingewiesen, dass möglicherweise die conservirende Eigenschaft des Gipses nur dann eine Einbusse erleidet, wenn die Flüchtigkeit des Ammoniaks durch hohe Temperaturen begünstigt wird und die Menge des Lösungswassers eine geringe ist, während sie bei niederer Temperatur und höherem Wassergehalt zur vollen Geltung gelangt *(A. Mayer).* Einfacher und den thatsächlichen Verhältnissen vielleicht am besten entsprechend wäre die Annahme, dass der Gips wegen langsamer Wirkung in Folge seiner Schwerlöslichkeit bei intensiver Zersetzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile des Harnes nicht im Stande sei, das Ammoniak schnell genug zu binden, dass er aber bei einem weniger raschen Verlauf des betreffenden Processes den Anforderungen in dieser Richtung vollkommen zu genügen vermöge. Aus alledem wird geschlossen werden dürfen, dass der Einfluss des Gipses auf die Fixirung des Ammoniaks noch nicht genügend aufgeklärt ist und dass diesem Conservirungsmittel in Rücksicht auf die bisherigen Resultate einschlägiger Versuche eine zweifelhafte Rolle zugeschrieben werden muss.

Von ungleich sicherer Wirkung als der Gips ist jenes unter der Bezeichnung Superphosphatgips von den Düngerfabriken in den Handel gebrachte Präparat, welches im Wesentlichen aus einem Superphosphat mit hohem Gehalt an Gips besteht und bei dessen Herstellung soviel Schwefelsäure dem Phosphat zugesetzt wurde, dass ein erheblicher Theil der Phosphorsäure (6—13%) sich im ungebundenen (freien) Zustande befindet. Durch letztere wird, wie die Untersuchungen von *H. Immendorff* und *A. Stutzer* lehren, das Ammoniak in vollkommenster Weise gebunden, derart, dass der Superphosphatgips als das beste Conservirungsmittel in dieser Beziehung betrachtet werden muss. Die Phoshporsäure verbindet sich hierbei mit dem Ammoniak zu phosphorsaurem Ammoniak, welches jedoch mit dem in reichlichen Mengen vorhandenen schwefelsauren Kalk sich umsetzen soll[1]) unter Bildung von halbsaurem und basisch phosphorsaurem Kalk. Die betreffenden Vorgänge werden durch folgende chemische Gleichungen dargestellt:

1. $2\,NH_4\,H_2\,PO_4 + Ca\,SO_4 + 2\,H_2O$
$= (NH_4)_2\,SO_4 + Ca\,H_4\,(PO_4)_2\,,H_2O + H_2O.$

2. $(NH_4)_2\,H\,PO_4 + Ca\,SO_4 + 2\,H_2O$
$= (NH_4)_2\,SO_4 + Ca\,H\,PO_4 + 2\,H_2O.$

3. $2\,(NH_4)_3\,PO_4 + 3\,Ca\,SO_4$
$= 3\,(NH_4)_2\,SO_4 + Ca_3\,(PO_4)_2.$

[1]) *L. Schucht.* Die Fabrikation des Superphosphats und Thomasphosphatmehls. Braunschweig. 1894. S. 108.

Dieser Werthverlust durch Bildung von halbsaurem und basisch phosphorsaurem Kalk wäre aber gering gegenüber dem Nutzen, welchen die Anwendung des Superphosphatgipses durch Bindung des Ammoniaks gewährt. Eine Rückbildung des schwefelsauren Ammoniaks in der oben angegebenen Weise würde hier nicht zu befürchten sein, weil die Wirkung des kohlensauren Kalkes durch die Säure beseitigt wird.

Bei grösseren Gaben (0,4% wasserlösliche Phosphorsäure und darüber) findet nach *A. Stutzer* eine Tödtung nicht allein der lebenden Ammoniakbacterien, sondern auch eine Vernichtung der Sporen (S. 65) statt, was eine Unterbrechung der Ammoniakgährung und sonach eine indirecte Beschränkung des Ammoniakverlustes zur Folge hat.

Nicht unerwähnt darf gelassen werden, dass der sogenannte Superphosphatgips, welcher gar keine freie Phosphorsäure und überhaupt nur wenig wasserlösliche Phosphorsäure enthält, dessen Phosphorsäure vielmehr grösstentheils dreibasisch gebunden ist, nicht im Stande ist, das kohlensaure Ammoniak zu binden.

Die Menge von Superphosphatgips, welche zur Conservirung des Stalldüngers erforderlich und täglich in den Ställen einzustreuen ist, beträgt nach den vorliegenden Erfahrungen je nach dem Gehalt des Präparates an löslicher Phosphorsäure für

ein Pferd	ein Rind	ein Schwein	zehn Schafe
0,4—0,75 kg	0,5—1 kg	0,1—0,2 kg	0,75—1,50 kg.

In Ermangelung von Superphosphatgips wird ein gewöhnliches Superphosphat mit ungefähr 16% löslicher Phosphorsäure, und zwar in denselben Mengen wie der hochprocentige Superphosphatgips mit gleichem Erfolge verwendet werden können.

Behufs Festlegung des Ammoniaks wurde von *H. Vogel*[1]) das Dicalciumphosphat in Form von sogenanntem Präcipitatgips (einem Gemenge von gefälltem Gips mit zweibasisch phosphorsaurem Kalk) empfohlen, wobei genannter Forscher von der Voraussetzung ausging, dass die freie Phosphorsäure und das Monocalciumphosphat des saueren Superphosphatgipses in gährenden Dungmassen schnell in Dicalciumphosphat verwandelt würden und dieses neben dem Gips der eigentlich wirksame Bestandtheil des Superphosphatgipses sei. Indessen haben die Versuche von *H. Immendorff* und *A. Stutzer* den Nachweis geliefert, dass das Dicalciumphosphat zu dem bezeichneten Zweck nicht geeignet und nur die wasserlösliche Phosphorsäure im Superphosphatgips der wirksame Bestandtheil sei.

In denjenigen Fällen, wo man gleichzeitig eine Kalidüngung verabreichen muss, werden statt der bisher besprochenen chemischen Mittel die Kalisalze (Kalimagnesia, Kainit, Carnallit, Krugit) empfohlen, welche das Kalium und Magnesium in Form von Sulfaten und Chloriden enthalten. Zur Bindung des flüchtigen Ammoniaks haben sich diese Salze weit weniger befähigt erwiesen als der Superphosphatgips. Begreiflich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass bei der Umsetzung des Ammoniakcarbonates mit dem Kalium- und Magnesiumsulfat nach einiger Zeit ein chemisches Gleichgewicht eintritt und dass die Salze, da es an einer weiteren Ver-

[1]) Journal für Landwirthschaft. 36. Jahrg. 1888. S. 247. — Die Wirkung der gasförmigen Zersetzungsproducte faulender organischer Substanzen auf die Phosphorsäure und ihre Kalksalze. Berlin. 1893.

anlassung zur Vollendung der chemischen Umsetzung fehlt, zum Theil in einem bestimmten Verhältniss bestehen bleiben, also auch kohlensaures Ammoniak, welches sich dann verflüchtigt. „Nachdem nun etwas von diesem flüchtigen Salze verdampft ist, wird durch das Verschwinden desselben das chemische Gleichgewicht gestört sein, und jenes wird sich theilweise aus dem vorher gebildeten Kaliumcarbonat und Ammoniaksulfat zurückbilden.“ *(A. Mayer.)* Wenn sonach die verschiedenen Kalisalze auf die Bindung des Ammoniaks nur eine unvollkommene Wirkung ausüben können, so besitzen sie doch andererseits indirect das Vermögen, den Stickstoffverlust zu vermindern und zwar dadurch, dass sie, in genügenden Mengen verwendet, die Ammoniakgährung verzögern.

Den Untersuchungen von *F. Holdefleiss* ist schliesslich zu entnehmen, dass ausser den bisher in Betracht kommenden chemischen Mitteln auch der Erde die Fähigkeit zukommt, die Stickstoffverluste zu beschränken, wenn dieselbe zur Bedeckung des Stallmistes verwendet wird. Zur Conservirung des Stickstoffs zeigte sich die Erdbedeckung sogar in ganz hervorragender Weise geeignet, indem unter derartigen Umständen der Stickstoff vollständig oder wenigstens fast vollständig erhalten wurde. Eine gleiche Wirkung dürfte die Torfstreu ausüben, welche, wie anderwärts (S. 259) nachgewiesen wurde, in hohem Grade die Fähigkeit besitzt, gasförmige Körper, also auch das flüchtige kohlensaure Ammoniak zu adsorbiren. Ob dieselbe bei der Verwendung zur Aufsaugung des Harnes auf die Ammoniakbildung selbst einen Einfluss ausübt, ist bisher noch nicht näher festgestellt worden.

Für die Beurtheilung der Brauchbarkeit der verschiedenen Conservirungsmittel in der Praxis ist neben ihrer Wirkung auf die Bindung des Ammoniaks unstreitig auch jene in das Auge zu fassen, welche sie auf die Form des in der Dungmasse zurückbleibenden Stickstoffs ausüben. Das Erforderniss einer derartigen Untersuchung wird zunächst aus dem Umstande herzuleiten sein, dass die Stickstoffverluste nicht allein durch Festlegung des flüchtigen kohlensauren Ammoniaks, sondern auch durch Ueberführung desselben in nichtflüchtige Verbindungen (Nitrate und Nitrite) oder durch Aufhebung der betreffenden Gährungsprocesse eine Einschränkung erfahren können. In dieser Beziehung bieten die an einer anderen Stelle (S. 128) mitgetheilten Untersuchungen über den Einfluss der Salze auf die Zersetzung der organischen Stoffe, sowie die bezüglich des Stalldüngers von *F. Holdefleiss* ausgeführten Versuche werthvolle Anhaltspunkte.

Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass die Phosphate und Sulfate, wenn durch deren Zufuhr die Concentration der Lösung in der Masse nicht eine bestimmte Grenze überschreitet, die Nitrification fördern (S. 136). Damit stimmt die von *F. Holdefleiss* ermittelte Thatsache überein, dass in dem mit Superphosphatgips behandelten Stalldünger neben dem Ammoniak eine ziemliche Menge von Salpetersäure vorhanden war, welche sich unzweifelhaft aus dem Ammoniak durch Oxydation (S. 3) gebildet hatte. Dagegen zeigte sich in diesen Versuchen, dass der Kainit, der neben Kalium- und Magnesiumsulfat Chlormagnesium enthält, nicht allein die Nitrification in einem ausserordentlichen Grade, sondern auch die Ammoniakbildung nicht unwesentlich eingeschränkt hatte. Der Widerspruch zu den Beobachtungen anderer Forscher ist jedoch nur ein scheinbarer und wird aufgeklärt, wenn man berücksichtigt, dass die Chloride (Chlormagnesium resp. Chlornatrium) wegen ihrer antizymotischen Eigenschaften die auf der Thätigkeit von Mikroorganismen

beruhenden physiologisch-chemischen Processe (Ammoniak- und Salpeterbildung) herabdrücken und behindern, und dass die gleiche Wirkung alle löslichen Salze ausüben, wenn dieselben in einer höher concentrirten Lösung vorhanden sind. Aus diesem Grunde erscheint die Behauptung gerechtfertigt, dass die in den *Holdefleiss*'schen und anderen Versuchen den Kali- resp. den Magnesiasalzen angerechneten Wirkungen ebensogut und wahrscheinlich richtiger jenen zugeschrieben werden können, welche durch die Chloride oder durch höhere Concentration der Salzlösung hervorgerufen werden. Derartige Betrachtungen führen aber auch gleichzeitig zu dem Schluss, dass die bisherigen Versuche über die Conservirung des Stalldüngers, in welchen die benützten Materialien aus einem Gemisch verschiedener Salze bestanden und die Concentrationen der Lösung fast gar nicht berücksichtigt wurden, zur Klärung der einschlägigen Fragen noch durchaus unzureichend sind. Eine allseitig zutreffende Vorstellung wird erst dann gewonnen werden können, wenn man die isolirten Wirkungen der einzelnen Salze bei verschiedener Concentration ihrer Lösung wird festgestellt haben.

Vorbehaltlich der Ergebnisse der in solcher Richtung auszuführenden exacten Untersuchungen wird zur Zeit auf Grund verschiedener Laboratoriumsversuche angenommen werden dürfen, dass die Sulfate (Kaliumsulfat, Calcium- und Magnesiumsulfat) bei geringer Concentration der Lösung förderlich auf die Salpeterbildung wirken, dass sie aber wie jedes andere beliebige Salz die Nitrification und die Ammoniakgährung hintanhalten, wenn sie, natürlich mit Ausnahme des schwerlöslichen Calciumsulfates, in stärker concentrirten Lösungen auftreten (S. 137).

Bemerkenswerth ist die in Uebereinstimmung mit den Beobachtungen *P. Pichard*'s (S. 101) stehende von *F. Holdefleiss* ermittelte Thatsache, dass in dem mit Erde behandelten Stalldünger eine starke Salpeterbildung stattgefunden hatte. Dieselbe war in der nicht mit Jauche befeuchteten und in Folge dessen der Luft besser zugänglichen Dungmasse intensiver verlaufen als in der mit Jauche durchtränkten, aber immerhin in letzterer noch recht beträchtlich. Die Nitrification war unter dem Einfluss der Erddecke sogar in noch grösserem Umfange vor sich gegangen als bei der Zufuhr von Superphosphatgips.

Aus diesen in Kürze mitgetheilten Thatsachen lässt sich ersehen, dass die verschiedenen Conservirungsmittel, welche bisher angewendet wurden, den Stickstoffverlust im Stalldünger in sehr verschiedener Weise zu verhüten vermögen, nämlich

1. durch Bindung des flüchtigen kohlensauren Ammoniaks;
2. durch Förderung der Nitrification (Ueberführung des Ammoniaks in Salpetersäure);
3. durch Behinderung der Thätigkeit der bei der Ammoniak- und Salpeterbildung betheiligten Mikroorganismen.

Diese drei Momente werden bei späteren Untersuchungen, welche ausserdem in der oben angegebenen Weise auszuführen wären, besonders berücksichtigt werden müssen, sobald man einen klaren Einblick in die betreffenden, in praktischer Hinsicht wichtigen Processe gewinnen will.

Die bisherigen Thatsachen über den Einfluss gewisser Conservirungsmittel auf die bei der Zersetzung des Stallmistes stattfindenden Stickstoffverluste und die Nitrification gewähren schon zur Zeit einen Anhalt bezüglich der Frage der Wirkungen jener Mittel auf die Entbindung freien Stickstoffs. Dass letztere in einem

Stalldunghaufen in grösserem oder geringerem Umfange stattfinden wird, wenn die Masse mit Flüssigkeit durchtränkt ist und in Folge des dadurch bedingten Luftabschlusses der Fäulniss unterliegt, wird auf Grund der gegenwärtigen Kenntniss von den unter solchen Verhältnissen stattfindenden Vorgängen nicht in Zweifel gezogen werden können. Eine andere Frage ist es, ob auch bei dem Zutritt der Luft die von *A. Stutzer* und *R. Burri* entdeckten nitratzerstörenden Bacterien (S. 32 und 62) eine umfangreichere Thätigkeit zu entfalten vermögen. Diese Frage muss nach den Ergebnissen der *Holdefleiss*'schen Untersuchungen entschieden verneint werden, weil gerade in denjenigen Fällen, wo die Bildung von Nitraten in grösstem Umfange stattgefunden hatte, die geringsten oder gar keine Verluste an Stickstoff eingetreten waren. Wenn, wie oben dargethan, bei der Bedeckung des Stallmistes mit Erde oder bei der Behandlung desselben mit Superphosphatgips sich grössere Mengen von Salpetersäure bilden, so müsste doch, wenn die nitratzerstörenden Bacterien eine umfangreiche Thätigkeit ausüben würden, gerade unter solchen Umständen, ganz besonders bei Verwendung von Erde zur Conservirung[1]), eine Abspaltung von Stickstoff im elementaren Zustande in mehr oder minderem Grade eintreten. Da dies jedoch nicht der Fall war, der Stickstoff vielmehr auf das Vollkommenste erhalten blieb, so wird gefolgert werden dürfen, dass, wenigstens unter den in Rede stehenden Verhältnissen, den nitratzerstörenden Bacterien keine irgendwie in Betracht kommende Rolle beizumessen sei.

Es erübrigt nunmehr noch, zu untersuchen, inwieweit die Zersetzung der kohlenstoffhaltigen, vornehmlich humusbildenden Bestandtheile des Stallmistes durch die verschiedenen Conservirungsmittel beeinflusst wird. Bei der gewöhnlichen Aufbewahrung ohne Conservirungsmittel erleidet der Stalldünger eine bedeutende Einbusse an organischer Substanz, je nach äusseren Umständen und der Dauer der Zersetzung 30—60 % und darüber. Eine so weit gehende Verminderung an denjenigen Bestandtheilen, welche weiterhin im Boden Humus bilden, wird selbstredend um so weniger erwünscht sein, je mehr auf die bodenverbessernde Wirkung des Stalldüngers unter gewissen Verhältnissen ein besonderer Werth zu legen ist. Deshalb hat die Frage bezüglich der Mittel zur Verhütung der in Rede stehenden Verluste für viele Fälle ein besonderes Interesse in Anspruch zu nehmen.

Abgesehen von Details, wird nach den Darlegungen S. 128 u. 135 gesagt werden können, dass durch Zufuhr von Säuren und Salzen in Mengen, welche eine sauere Beschaffenheit der Dungmasse und eine höhere Concentration der Lösung in derselben herbeizuführen geeignet sind, der beabsichtigte Zweck sich in wünschenswerther Weise erreichen lassen wird.

Mineralsäuren werden, wenngleich sie in fraglicher Richtung allen Anforderungen genügen, aus den bereits oben angeführten rein praktischen Gründen zweckmässig nicht in Anwendung gebracht. Dagegen wird an die Benutzung von Superphosphatgips behufs Einschränkung der Verwesung der organischen Substanz gedacht werden können. In der That zeigen die Versuche von *Holdefleiss*, dass durch Zusatz dieses Mittels nicht so viel von humusbildenden Stoffen verloren geht, wie

[1]) Bezüglich des mit Superphosphatgips behandelten Düngers könnte allerdings der Einwand erhoben werden, dass in Folge der saueren Reaction, welche die Masse durch Zufuhr löslicher Phosphorsäure annimmt, gleichzeitig die Thätigkeit der nitratzerstörenden Bacterien gehemmt werde.

bei dem Dünger ohne Beimengung, dass aber immerhin der Verlust noch ein recht ansehnlicher ist. Hierbei ist indessen zu berücksichtigen, dass jedenfalls die Wirkung des Superphosphatgipses in fraglicher Beziehung je nach den Mengen, welche verwendet werden, sehr verschieden sein wird und dass wahrscheinlich bei grösseren Dosen bessere Resultate erzielt werden. Von guter Wirkung dürfte auch die neuerdings hergestellte „saure Torfstreu" sein, welche 2—3% Schwefelsäure enthält, doch fehlen zur Zeit hierüber exacte Beobachtungen.

Von schädlicher Wirkung erweisen sich der Aetzkalk und das ätzkalkreiche Thomasphosphatmehl. Zwar wird die Zersetzung des frischen Düngers nach derartigen Zusätzen verzögert, wie auf Grund der S. 131 mitgetheilten Versuchsergebnisse angenommen werden kann; aber jene des bereits dem Zerfall unterlegenen Düngers beträchtlich gefördert (S. 133), derart, dass ein grosser Theil der organischen Substanz in Verlust geräth. Dazu kommt, dass unter diesen Verhältnissen das bereits gebildete Ammoniak fast vollständig verflüchtigt wird, indem bekanntlich der Kalk die betreffenden Verbindungen rasch zersetzt und dadurch das Ammoniak aus diesen austreibt. Eine nützliche Wirkung wird dem Kalk nur in dem Falle zugeschrieben werden können, wo der Uebertritt des Ammoniaks an die Atmosphäre bei Anwendung reichlicher Mengen von Erde und Torfstreu gehindert ist, und zwar insofern, als der Kalk unter solchen Bedingungen die Nitrification des durch diese Materialien zurückgehaltenen Ammoniaks wesentlich unterstützt (S. 134). Der schwefelsaure Kalk dürfte muthmaasslich die Zersetzung der organischen Stoffe verzögern, jedoch nicht in beträchtlichem Grade (S. 136).

Gegen die Benutzung von Pflanzenaschen spricht der Umstand, dass diese mit einem mehr oder minderen Gehalt von kohlensauren Alkalien ausgestattet sind, die, wie nachgewiesen (S. 129), der Oxydation der kohlenstoffreichen Substanzen in beträchtlichem Grade Vorschub leisten und aus diesem Grunde zu einer weitgehenden Zerstörung der organischen Substanzen Veranlassung geben. Die Alkalicarbonate sind ferner nicht allein ungeeignet, eine Bindung des Ammoniaks herbeizuführen, sondern können sogar ein Entweichen desselben bewirken.

Den stärksten Einfluss auf die Erhaltung der humusbildenden Bestandtheile des Düngers üben die Salze aus, wenn man dieselben in solchen Mengen verwendet, dass die Flüssigkeit in der Dungmasse eine höhere Concentration annimmt. Man kann jedes beliebige Salz zu diesem Zweck benutzen, also auch z. B. Kochsalz, welches durch seine antizymischen Eigenschaften noch eine weitere vortheilhafte Wirkung äussert. Indessen wird man wohl von einer ausgedehnteren Anwendung dieses Salzes Abstand nehmen müssen, weil dasselbe im Boden leicht einen schädlichen Einfluss auf die Keimfähigkeit der Samen ausübt und in solchen, welche kalkreich sind, zur Bildung von Verbindungen (Chlorcalcium) Veranlassung giebt, welche das Pflanzenwachsthum nachtheilig beeinflussen. In der Regel wird es zweckmässiger sein, sich der Kalisalze, welche ohnehin in den meisten Wirthschaften bei der Düngung unentbehrlich sind, zur Conservirung der organischen Stoffe des Stallmistes zu bedienen. Dieselben sind, wie aus den Untersuchungen von *Holdefleiss* hervorgeht, in der That vorzüglich geeignet, die Zersetzungsvorgänge in der Stalldungmasse zu hemmen. Erforderlich sind hierzu etwa $^3/_4$—1 kg pro Stück Grossvieh beim Rinde, etwas weniger bei dem Pferde.

Was den Einfluss einer Erddecke anlangt, so äussert sich dieser nach den Versuchen von *Holdefleiss* in der Weise, dass der Verlust an organischer Substanz demjenigen in der unvermischten Dungmasse vollständig gleich kommt, gleichviel ob letztere nur durch den auffallenden Regen oder durch Zufuhr von Jauche angefeuchtet wird.

Die im Bisherigen geschilderten Gesetzmässigkeiten sind bezüglich des im Stalle aufbewahrten Düngers (Tiefstalldünger) in einigen Beziehungen zu modificiren. Wenngleich auch bei diesem Verfahren ein nicht unerheblicher Theil der organischen Substanz sich verflüchtigt, so ist doch der Verlust ungleich geringer als bei der Aufschichtung des Düngers auf der Dungstätte. So gingen z. B. in den Versuchen von *Holdefleiss* bei dem Tiefstalldünger nur ca. 13%, bei dem im Freien gelagerten hingegen ca. 30% Trockensubstanz verloren. Bei der Anwendung von Superphosphat und Kalisalz blieb die organische Substanz fast vollständig erhalten. Hiernach erweist sich das betreffende Verfahren für die Beschaffenheit des Düngers höchst nützlich und hat schon für sich allein einen so günstigen Einfluss, dass es mit Hilfe desselben gelingt, ohne Zusatz eines Conservirungsmittels den Verlust an organischer Substanz soweit einzuschränken, wie es nur der wirksamste Zusatz bei der Aufbewahrung des Düngers auf der Dungstätte herbeizuführen im Stande ist. In manchen Fällen wird auch die Anwendung chemischer Mittel füglich unterbleiben können, nämlich dort, wo es sich mehr um die ernährende Wirkung des Düngers handelt und jene, welche dieser durch Humusbildung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens ausübt, weniger in Betracht kommt. Wenn jedoch in letzterer Hinsicht höhere Anforderungen zu stellen sind, wird ein Zusatz von Superphosphat oder Kalisalz angezeigt sein, doch wird man den damit beabsichtigten Zweck schon mit einer Menge dieser Mittel erzielen, welche etwa $^1/_2$—$^3/_4$ derjenigen beträgt, welche zur Conservirung des Stalldüngers auf der Dungstätte erforderlich ist.

In Betreff der Stickstoffbewahrung beim Tiefstalldünger hatten die Conservirungsmittel (Superphosphatgips und Kalisalze) in den Versuchen von *Holdefleiss* keine bessere Wirkung hervorgebracht als das Aufbewahren ohne Beimengung. In allen diesen Fällen stimmten die Gesammtmengen des Stickstoffs fast vollständig überein. Dagegen ergaben sich einige Unterschiede in den Verbindungen, in welchen der Stickstoff in den verschieden behandelten Dungmassen auftrat. Unter dem Einfluss des Kalisalzes hatten sich, wie im Freien, nur Spuren von Salpetersäure, dagegen grössere Mengen von Ammoniak gebildet. Der Superphosphatgips äusserte eine verschiedene Wirkung, je nachdem der Mist mehr oder weniger fest gelagert war. „Wurde der Tiefstalldünger durch eine dem Stallraum entsprechende volle Anzahl von genügend grossen und schweren Thieren beständig festgetreten, so wurde in demselben die Bildung von Salpetersäure, sowohl bei Gegenwart von Superphosphatgips als auch beim Ausschluss eines Zusatzes bis auf ein ganz geringes Maass eingeschränkt, ohne aber ganz verhindert zu werden. Fand dagegen — bei Vorhandensein einer geringeren Anzahl von Thieren und besonders bei jüngeren, leichteren Thieren — nur ein beschränktes Festtreten des Düngers statt, so entstanden auch im Tiefstalldünger reichlichere Mengen von Salpetersäure.“

Aus diesen Darlegungen ergeben sich zur Genüge die Vortheile, welche das Liegenlassen des Düngers unter den Thieren gegenüber dem Verfahren der Aufbewahrung desselben im Freien bietet. Zieht man ausserdem noch in Betracht, dass

im ersteren Fall die Anlage und Unterhaltung einer Dungstätte und Jauchengrube fortfällt, Verluste von Jauche durch Fortfliessen vollständig vermieden, die Arbeiten bei dem Ausmisten, Ausbreiten, Festtreten und Befeuchten des Düngers auf der Dungstätte erspart werden, so wird man der Anschauung, dass die Aufbewahrung im Stalle jeder anderen Art derselben vorzuziehen sei, die Berechtigung nicht absprechen können. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Ställe, in welchen der Dünger unter den Thieren liegen bleiben soll, mit besonderen Vorrichtungen[1]) versehen sein müssen, die sich in den gewöhnlichen Stallungen nicht ohne Weiteres, sondern meist nur bei Neubauten anbringen lassen. Aus diesem Grunde wird man in der Mehrzahl der Fälle gezwungen sein, den Stallmist, wie bisher, auf einer Dungstätte aufzubewahren.

Im Anschluss an vorstehende Darlegungen dürfte es geboten erscheinen, der Frage näher zu treten, inwieweit die in den Stall gebrachten Conservirungsmittel das Wohlbefinden der Thiere schädigen könnten. In dieser Beziehung ist zunächst zu constatiren, dass Superphosphatgips und sauere Torfstreu (mit 2—3% Schwefelsäure) nach den vorliegenden praktischen Erfahrungen nach keinerlei Richtung für die Haut, Euter, Klauen und Hufe der Thiere nachtheilig sind, dass aber bei Benutzung von Kalisalzen Schädigungen verschiedener Art vorkommen können. Dazu gehört, dass das Vieh, wenn es salzhungrig ist, den mit Kalisalzen bestreuten Dünger mit Gier frisst, oder dass empfindlichere Körpertheile, wie das Euter u. dergl. gereizt werden. Um diesen Uebelständen zu begegnen, erscheint es zweckmässig, den Mist möglichst oft aus dem Stalle zu entfernen und ihn erst auf der Dungstätte mit dem Salz zu bestreuen. In denjenigen Fällen aber, wo der Dünger unter den Thieren liegen bleibt, wird man den bezeichneten Nachtheil dadurch am besten beseitigen, dass man das Einstreuen des Salzes unmittelbar vor dem des Strohes vornimmt, damit das Salz sogleich von diesem überdeckt wird und mit dem Körper der Thiere nicht in Berührung kommt. Aehnliche Vorsicht wird auf der Dungstätte zu beobachten sein, wenn das Vieh zum Festtreten des Düngers herausgelassen wird, indem das aufgestreute Salz durch eine Schicht herausgebrachten frischen Mistes überdeckt wird.

Bei Zusammenfassung der im Bisherigen mitgetheilten Beobachtungen gelangt man zu folgenden für die Praxis wichtigen Schlussfolgerungen:

1. Der unvermischte Stallmist erleidet durch die Zersetzungsvorgänge eine Einbusse an organischen Stoffen, die je nach der Dauer und Art der Aufbewahrung in einem verschiedenen Umfang erfolgt. Der betreffende Verlust ist um so grösser, je älter der Dünger ist; er ist ungleich beträchtlicher (30—60%) bei der Lagerung des Mistes auf der Dungstätte als bei jener im Tiefstall (13%). Im ersteren Fall verschwindet gleichzeitig bei dem Zerfall der organischen Substanz ein Theil des Stickstoffs, hauptsächlich durch Verflüchtigung des aus den stickstoffhaltigen Bestandtheilen des Harnes sich abspaltenden kohlensauren Ammoniaks, während bei dem Liegenlassen des Düngers unter den Thieren die Verminderung des Gesammtstickstoffgehaltes eine minimale ist. Bei beiden Aufbewahrungsmethoden ist der Uebergang des Ammoniaks in Salpetersäure wesentlich erschwert. Die Bildung reichlicherer Mengen von Salpetersäure findet in dem Tiefstalldünger nur dann statt, wenn bei

[1]) *F. Engel* Handbuch des landwirthschaftlichen Bauwesens. Berlin. 1895. S. 301.

dem Vorhandensein einer geringeren Anzahl von Thieren und besonders von jüngeren, leichteren Thieren nur ein beschränktes Festtreten der Dungmasse stattfindet.

2. Mineralsäuren (Schwefelsäure, Salzsäure) üben eine retardirende Wirkung auf die Zersetzungsprocesse im Stalldünger aus, wenn derselbe durch die Zufuhr eine sauere Beschaffenheit erhält, und eignen sich vorzüglich für die Festlegung des Ammoniaks. Ihrer ausgedehnteren Anwendung in der Praxis steht jedoch der Umstand entgegen, dass sie im Gebrauch gefährlich sind und die Wände der Jaucheleitungen und -Behälter corrodiren.

3. Durch Zusatz von Aetzkalk oder Aetzkalk enthaltenden Materialien (Thomasphosphatmehl) zu frischem Dünger wird wahrscheinlich die Zersetzung der organischen Stoffe gehemmt, während durch diese Operation in dem bereits in Zersetzung begriffenen Dünger der Zerfall der organischen Stoffe beschleunigt und der Verlust an Ammoniak dadurch, dass der Kalk das vorher gebildete Ammoniak austreibt, vergrössert wird. Aus diesem Grunde erscheint die Benützung bezeichneter Materialien zur Conservirung des Stalldüngers verwerflich.

4. Bei Verwendung von kohlensaurem Alkali in Form von Pflanzenasche erfahren muthmaasslich die Zersetzungsvorgänge im Stalldünger und die Stickstoffverluste eine Steigerung, weshalb derartige Zusätze zu unterlassen sind.

5. Die Wirkung des Gipses (schwefelsaurer Kalk) auf die Bindung des Ammoniaks ist im Allgemeinen unzulänglich und vielleicht nur bei sehr feinkörniger Beschaffenheit und längerer Einwirkung ausreichend. Dieselbe äussert sich im Uebrigen durch schwache Herabsetzung des Zerfalls der kohlenstoffreichen Bestandtheile des Düngers und durch Unterstützung der Salpeterbildung.

6. Der Superphosphatgips hat bei einem höheren Gehalt an freier Phosphorsäure und Monocalciumphosphat für die Stallmistconservirung die Bedeutung, dass er in vollkommener Weise die Bindung des Ammoniaks bewirkt, gleichzeitig die Bildung desselben hemmt und die Nitrification fördert; dagegen vermag er nicht wesentlich der Oxydation der stickstofffrei gedachten organischen Stoffe des Mistes Einhalt zu thun. Dies wird in stärkerem, wenngleich unzureichendem Grade erreicht, wenn die angewendete Menge die in der landwirthschaftlichen Praxis als zulässig erscheinende Grenze überschreitet. An Stelle des Superphosphatgipses kann auch Superphosphat bei etwas stärkerer Zufuhr mit gleichem Erfolg verwendet werden. Präcipitirter phosphorsaurer Kalk (Dicalciumphosphat) hat sich zur Bindung des Ammoniaks als unbrauchbar erwiesen und dürfte auch auf die Zersetzung der organischen Bestandtheile des Mistes keine Wirkung ausüben.

7. Durch Beimischung von löslichen Salzen (Kalisalze[1]), Chlornatrium u. s. w.) in solchen Mengen, als zur Herstellung einer gewissen höheren Concentration ihrer Lösungen erforderlich ist, wird die Zersetzung der organischen Substanzen im Stalldünger, die Ammoniak- und Salpeterbildung in beträchtlichem Grade herabgedrückt, doch ist mittelst dieses Verfahrens die Verflüchtigung des Ammoniaks nicht sicher zu verhüten. Der gewonnene Dünger besitzt eine mehr strohartige Beschaffenheit und ist, abgesehen von den zugeführten Salzen, im Uebrigen relativ arm an löslichen Nährstoffen.

8. Für den Tiefstalldünger hat die Beigabe von Conservirungsmitteln eine geringere Bedeutung als für den im Freien lagernden Dünger; dieselbe kann, ohne dass Nach-

[1]) Kainit, Krugit, Carnallit, rohe schwefelsaure Kalimagnesia u. s. w.

theile für die Wirksamkeit des Düngers dadurch erwachsen, unterbleiben, wenn die Dungmasse unter schweren und in ausreichender Zahl vorhandenen Thieren fest zusammengetreten wird; sie erweist sich jedoch als nothwendig in dem Fall, wo letzteres nicht erreicht wird.

9. Ein mit Erde behandelter Dünger zeigt hinsichtlich des Zerfalls der organischen Bestandtheile ein dem unvermischten Dünger analoges Verhalten, unterscheidet sich aber wesentlich von diesem dadurch, dass er das flüchtige Ammoniak fast vollständig conservirt und für eine intensive Salpeterbildung die günstigsten Bedingungen bietet. Eine gleiche Wirkung wird bei Verwendung reichlicher Mengen von Torfstreu, welche in hohem Maasse das Vermögen besitzt, das Ammoniak zu adsorbiren, hervorgerufen werden können, in vollkommenster Weise dann, wenn dieselbe mit Schwefelsäure imprägnirt ist. In letzterem Fall dürfte auch eine Verzögerung in der Zersetzung der kohlenstoffreichen Bestandtheile des Düngers sich herbeiführen lassen. Der mit Hilfe von Erde hergestellte Stallmist ist zwar verhältnissmässig arm an humusbildenden Bestandtheilen, aber reich an löslichen leicht aufnehmbaren stickstoffhaltigen und mineralischen Nährstoffen.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich mit voller Deutlichkeit, welche Mittel dem Landwirth hinsichtlich der Beseitigung der Stickstoffverluste, wie solche bei der gewöhnlichen Aufbewahrung des Stalldüngers unvermeidlich sind, und der Beeinflussung der Zersetzungsvorgänge zur Verfügung stehen. Die Auswahl der passenden Methode ist natürlich nach Maassgabe der örtlichen Verhältnisse zu treffen. Wo es möglich ist, die erforderlichen Einrichtungen zu treffen, wird unter allen Umständen das Liegenlassen des Düngers unter den Thieren die grössten Vortheile gewähren. In den übrigen Fällen wird eines der als brauchbar befundenen Conservirungsverfahren bei der Behandlung des Düngers auf der Dungstätte in Anwendung gebracht werden müssen, wobei nicht nur die Nothwendigkeit der Zufuhr dieses oder jenes Nährstoffes, sondern auch die Wirkungsweise der Stallmistdüngung in Bezug auf die physikalischen Eigenschaften des Ackerlandes in Betracht zu ziehen ist.

Letzteren Punkt anlangend, ist besonders die Frage von Wichtigkeit, ob gegebenen Falls der Dünger in einem mehr oder weniger zersetzten Zustande zu verwenden sei. Um hierin sicher zu gehen, wird das Verhalten der organischen Stoffe in den Böden von verschiedener physikalischer Beschaffenheit vor Allem in das Auge zu fassen sein (S. 147). In Böden, welche, wie die bindigen, eine derartige Beschaffenheit besitzen, dass in denselben der Verlauf der organischen Processe nur langsam von Statten geht, würde die Wirkung eines wenig verrotteten Düngers eine nur schwache sein. Für solche Böden muss vielmehr die Regel gelten, einen innerhalb gewisser Grenzen stärker zersetzten, mit einem grösseren Vorrath von aufnehmbaren Nährstoffen versehenen Stallmist zu verwenden. In keinem Fall darf jedoch die Zersetzung so weit vorgeschritten sein, dass der Dünger eine „speckige“ Beschaffenheit angenommen hat, weil unter derartigen Umständen die Zufuhr humusbildender Stoffe, welche für die in Rede stehenden Böden von Wichtigkeit ist, (S. 284), eine unzulängliche wäre. Der Grad der Zersetzung, in welchem der Stallmist zu verwenden ist, ist im Uebrigen nach dem Gehalt des Bodens an organischen Stoffen zu bemessen und dürfte es sich empfehlen, den mit Erde behandelten Dünger für die an Humus reicheren, den mit Superphosphat gemengten für die humusarmen

Böden bezeichneter Kategorie zu verwenden. Ersterer wird auch für Humusböden (Moorboden) sich am besten eignen.

Für leichte, sandige, sehr thätige Böden, in welchen der Zerfall der organischen Stoffe sehr intensiv verläuft und sehr leicht Auswaschungen in grösserem Umfange bei dem Vorhandensein reichlicher Mengen von Nährstoffen eintreten, wird die Verwendung eines wenig zersetzten Mistes, wie solcher im Tiefstall oder bei Behandlung mit Kalisalzen gewonnen wird, sich vortheilhaft erweisen. Der hiergegen vielfach erhobene Einwand, dass dem Boden die für eine intensive Zersetzung des mehr strohigen Düngers erforderliche Feuchtigkeit mangele, ist nicht stichhaltig, wenn bei richtiger Bestellung des Landes für die erforderliche Beschränkung der Verdunstung Sorge getragen (S. 342) und der Dünger nicht zu flach untergebracht wird. Unter derartigen Verhältnissen ist auch nicht zu befürchten, dass die Kalisalze weiterhin die Zersetzung des Düngers nach dessen Unterbringung hintanhalten, da die Lösung derselben eine genügende, die Fortsetzung des Zersetzungsprocesses nicht störende Verdünnung erfährt.

Von ähnlichen, wie den vorstehend entwickelten Gesichtspunkten wird man bei Entscheidung der Frage, welche Düngersorten für die verschiedenen Bodenarten zu verwenden seien, auszugehen haben. Hitzige, sich leicht zersetzende Dünger (Pferde- und Schafmist) eignen sich zweifelsohne hauptsächlich für bindige und nicht für leichte Bodenarten; in letzteren würde, da zumal die Bedingungen hierfür sehr günstig sind, die Zersetzung so stürmisch verlaufen, dass in verhältnissmässig kurzer Zeit sich grössere Mengen von löslichen Nährstoffen bilden und diese, wegen des geringen Absorptionsvermögens und der bedeutenden Durchlässigkeit des Bodens mehr oder weniger ausgewaschen würden. Diesem Uebelstande kann nur bei Benützung eines kalten, sich langsam zersetzenden Düngers (Rindvieh- und Schweinedünger) in wirksamer Weise abgeholfen werden. Diese Mistsorten würden auf dem bindigen Boden, in welchem der Zerfall aller organischen Stoffe nur langsam erfolgt, dem Boden bis zur Zeit des Verbrauchs seitens der angebauten Pflanzen eine zu einem kräftigen Wachsthum derselben unzureichende Menge von Pflanzennährstoffen liefern. Diese Regeln haben übrigens keine besondere praktische Bedeutung, weil dem Landwirth meistentheils keine Wahl gelassen ist, insofern die Felder selten derartige Abweichungen in ihrer Beschaffenheit zeigen, dass eine Sonderung zwischen den verschiedenen Mistsorten sich als nothwendig herausstellt. Vielmehr wird man in der Mehrzahl der Fälle gezwungen sein, behufs Herstellung eines möglichst gleichmässig beschaffenen Düngers, die anfallenden Dünger, mit Ausnahme desjenigen der Schafe, welcher in Folge der eigenthümlichen Haltung dieser Thiere ausnahmslos im Stalle verbleibt, mit einander zu mischen.

Die aus dem Stallmist abfliessende Flüssigkeit, die Jauche, ist zwar ursprünglich aus dem Harn der Thiere hervorgegangen, besitzt aber gleichwohl eine andere Beschaffenheit, indem dieselbe bei der Berührung mit den Bestandtheilen des Düngers mannigfache chemische Veränderungen und durch das Regenwasser eine Verdünnung erleidet. Sie ist daher stets wasserreicher als der Harn und enthält eine geringere Menge von Stickstoff und Kali als dieser. Der unbedeutende Gehalt der Jauche an Phosphorsäure, der aus der Berührung derselben mit den festen Excrementen herstammt, kommt nicht weiter in Betracht. Demnach sind Kali und Stickstoff hauptsächlich die wirksamen Bestandtheile der Jauche. Ersteres, in Form von Carbonat

auftretend, unterliegt keinen Veränderungen, dagegen treten solche bei den stickstoffhaltigen Bestandtheilen ein, von welchen ein Theil durch Verflüchtigung von Ammoniak und Entbindung freien Stickstoffs verloren geht.

Zur Beseitigung letzteren Uebelstandes stehen verschiedene Mittel zur Verfügung. Zunächst wird der Bildung grösserer Jauchemengen durch reichliche Einstreu, unter Benützung von Torfstreu vorgebeugt werden können. Erweist sich die Streu nicht genügend, die flüssigen Ausscheidungen vollständig aufzusaugen, dann müssen die Rinnen und die Jauchegrube, in welcher die Flüssigkeit gesammelt wird, wasserdicht hergestellt und bedeckt werden. Die Anwendung chemischer Mittel (Schwefelsäure, Superphosphat, Eisenvitriol u. s. w.) zur Bindung des Ammoniaks und Verhütung von Gährungsprocessen kann füglich unterbleiben, wenn der Stalldünger selbst mit Superphosphatgips bestreut und die ablaufende Jauche zur Anfeuchtung der Dungmasse benutzt wird. Ebenso bedarf es eines Zusatzes nicht, wenn bei der Bereitung des Stalldüngers sauere Torfstreu verwendet wurde.

2. Die Excremente der Vögel.

Von den in diese Gruppe gehörenden Kotharten kämen hier zunächst die Ausscheidungen des Hausgeflügels in Betracht, welche nach den vorliegenden von *A. Mayer* und *E. Heiden* gemachten Zusammenstellungen der allerdings noch sehr unvollständigen Analysen etwa folgende Zusammensetzung besitzen:

	Taubenkoth.	Hühnerkoth.	Entenkoth.	Gänsekoth.
Wasser	62%	59,7%	53%	82%
Organische Substanz	31—32 „	29,4 „	40 „	14 „
Stickstoff	1,2—2,4 „	0,8—1,4 „	0,8 „	0,6 „
Asche	6—7 „	8,4 „	7 „	4 „

Hiernach sind die Excremente der Tauben und Hühner bedeutend reicher an stickstoffhaltigen organischen Bestandtheilen als jene der beiden anderen Geflügelarten. Dies gilt auch von den Mineralbestandtheilen, besonders von den Phosphaten und zum Theil auch von den Alkalisalzen. Diese auffallenden Unterschiede werden leicht verständlich, wenn man die Ernährung der betreffenden Thiere in Betracht zieht. In Folge des Umstandes, dass Tauben und Hühner sich hauptsächlich von stickstoff- und phosphorsäurereichen Körnern ernähren, müssen deren Ausleerungen nothwendigerweise mit einem höheren Gehalt an Pflanzennährstoffen dotirt sein als jene der Enten und Gänse, denen vornehmlich krautartige grüne Gewächse zur Ernährung dienen. Dem Reichthum an stickstoffhaltigen Bestandtheilen gemäss verläuft die Zersetzung der Excremente der körnerfressenden Vögel schneller als jene der pflanzenfressenden.

Der Stickstoff ist in den Excrementen grossentheils in Form von Harnsäure vorhanden, welche bei vollständiger Oxydation in Harnstoff und Kohlensäure zerlegt wird, von denen der Harnstoff schliesslich noch in Kohlensäure und kohlensaures Ammoniak zerfällt.

Der grosse Reichthum an leicht aufnehmbaren Nährstoffen charakterisirt die Ausleerungen der Hühner und Tauben als concentrirte Düngemittel, die, wenn sie nicht schädlich wirken sollen, nur in kleinen Gaben dem Boden zugeführt werden dürfen. In diesem Falle üben sie eine rasche und intensive Wirkung auf das Wachsthum der Pflanzen aus. Wegen der geringen Menge, welche in den Wirth-

schaften gewonnen wird, werden sie wohl selten, höchstens bei der Cultur der Gartengewächse, direct verwendet. Sonst eignen sie sich, wie der Enten- und Gänsekoth am besten im Gemisch mit verschiedenen Abfällen zur Compostbereitung, falls man es nicht vorzieht, dieselben dem Stalldünger beizumengen.

An die eben behandelte Kategorie reihen sich die Excremente der Seevögel an, welche sich im Verein mit den Leichen dieser Thiere und Fischresten in Gegenden mit warmem und regenlosem Klima unter Umständen in mächtigen Lagern ansammeln und unter der Bezeichnung „Guano" in den Handel gebracht werden. In dem Betracht, dass die Nahrung der Seevögel aus Fischen besteht, kann es nicht Wunder nehmen, dass auch ihre Entleerungen reich an stickstoffhaltigen Bestandtheilen und Phosphaten sind, und in dieser Beziehung jene der Hühner und Tauben wesentlich übertreffen. Dazu kommt, dass die Zersetzung der Excremente unter den obwaltenden Verhältnissen fast vollständig aufgehoben wird, indem dieselben unter dem Einfluss starker Sonnenhitze schnell austrocknen und bei dem Mangel an atmosphärischen Niederschlägen sich in diesem Zustande erhalten. Der gewonnene Dünger ist daher reichlich mit werthvollen Pflanzennährstoffen ausgestattet und darf in Folge dessen ebensowenig wie der Hühner- und Taubenkoth in grösseren Mengen angewendet werden.

Ueber die Zusammensetzung der hierher zu zählenden Guanosorten giebt folgende Tabelle nach den Angaben von *W. Ivison Macadam*[1]) Auskunft:

Bestandtheile.	Peru-guano.	Ichaboe-guano.	Afuero-Guano.		Halifax-Guano.		Ascension-Guano.	Penguin-Island-Guano.	Guano von Patagonien.
			1.	2.	1.	2.			
Wasser	12,5 – 17,0	6,1—22,1	12,2	16,9	16,5	15,6	6,7 – 11,0	19,5 – 21,8	10,6 – 21,2
Stickstoffh. organ. Stoffe und Ammoniak . .	15,4—43,7	28,9 38,4	33,1	26.8	38,6	40,1	27,5—36,8	17,7—21,0	21,6 – 34,0
Ammoniak	3,7—13,4	8,1—12,8	9,2	7,4	11,9	12,8	8,8—12.3	4,7— 4,8	4,8— 6,2
Phosphorsaure Salze .	10,1—36,1	3,4—33,7	32,7	31,7	12.0	9,4	24,9—34.2	16,1—19.2	19,4—29,1
Alkalisalze	7,0 – 16,3	2,8—11,0	17,4	19,6	10,1	8,4	2,8— 9,4	6,2— 7,2	5,6— 8,6

An Orten, wo Niederschläge oder durch die Brandung des Meeres Ueberfluthungen stattfinden, unterliegen die Excremente der Seevögel einer raschen Zersetzung und werden die gebildeten löslichen stickstoff- und kalireichen Producte ausgewaschen. Die löslichen Phosphate werden aber, wenn die Unterlage der angehäuften Excremente aus Kalk besteht, zur Bildung von Tricalciumphosphat veranlasst, welches wegen seiner Unlöslichkeit der Auswaschung widersteht und sich in mehr oder minder mächtigen Schichten ablagert. Hierauf ist der Ursprung jener steinartigen, den Phosphoriten ähnlichen Guanos zurückzuführen, welche, wie der Baker-, Phönix-, Lacepede-, Avola-, Humon-Island-, Ashmore-Shoals-, Bahama-Island-, Guanahani-Guano, zum grössten Theil aus Kalkphosphat[2]) (53—79%) bestehen und nur einen geringen Gehalt an organischen stickstoffhaltigen Substanzen (1—14%) besitzen. Die ausgelaugten Excremente werden vielfach durch die Meeresfluthen fortgeführt, bleiben aber an manchen Orten zurück und bilden dann eine lockere,

[1]) *W. Ivison Macadam.* Journal of the society of chemical Industry 1888.

[2]) Die beiden letztgenannten Guanosorten enthalten nur 39 resp. 24—37,5% Kalkphosphat, dafür aber grössere Mengen Calciumcarbonat (13,5 resp. 22—31,5%).

braun gefärbte Masse. Ein Beispiel hierfür bietet der Mejillones-Guano, welcher ca. 60,5% basisches Kalkphosphat und 18% halbsaures Magnesiumphosphat, neben geringen Mengen organischer Substanz enthält.

Im Anschluss an die oben behandelte Gruppe von Dungstoffen kann, obwohl nicht in diese gehörig, doch wegen ähnlicher Bildung und Zusammensetzung an dieser Stelle noch der in gewissen Höhlen in grösseren Massen sich ansammelnden Excremente der Fledermäuse Erwähnung geschehen, welche, abgebaut und als **Fledermausguano** in den Handel gebracht, folgende Zusammensetzung nach *E. Heiden* aufweisen:

Wasser	13,3—23,4%
Organische Stoffe	56,5—73,0 „
Stickstoff	9,4—12,3 „
Phosphorsäure	2,3— 3,2 „
Kalisalze	1,6— 2,1 „
Ammoniak	5,3—14,8 „ .

Die Excremente der Fledermäuse sind sonach ärmer an Phosphorsäure als jene der Seevögel, besitzen aber im Uebrigen eine sehr ähnliche Zusammensetzung. Ein mehr oder weniger grosser Theil der stickstoffhaltigen Bestandtheile, und zwar des Harnes, ist bereits der Zersetzung verfallen unter Bildung von Ammoniak.

3. Die Excremente der Menschen.

In den Excrementen der Menschen finden sich gleichergestalt wie bei den nicht thierische Producte liefernden Haussäugethieren, mit Ausnahme eines Theils der stickstofffreien Bestandtheile, welche im Organismus zur Athmung verwendet werden und denselben in Form von gasförmigen Producten (Kohlensäure und Wasser) verlassen, alle Stoffe wieder, welche in der Nahrung aufgenommen worden sind. Hieraus erklärt sich die Thatsache, dass die menschlichen Ausleerungen hinsichtlich ihrer chemischen Beschaffenheit von der Zusammensetzung der verzehrten Nahrung vollständig abhängig sind und, da diese eine sehr verschiedene ist, einen wechselnden Gehalt an Pflanzennährstoffen aufweisen. Aus diesem Grunde können Durchschnittsanalysen nur einen ungefähren Anhalt zur Beurtheilung des Dungwerthes der menschlichen Auswurfstoffe liefern. Von diesem Gesichtspunkt sind auch folgende Zahlen nach den Angaben von *J. H. Vogel*[1]) in Betracht zu ziehen:

	Mittlere Zusammensetzung der menschlichen Excremente in frischem Zustande in Procenten.		
	Koth.	Harn.	Gemenge beider.
Wasser	77,20	95,50	93,70
Organische Substanz	19,60	3,30	4,90
Asche	3,20	1,20	1,40
Stickstoff	1,30	0,80	0,85
Phosphorsäure	1,16	0,16	0,26
Kali	0,40	0,19	0,21.

Bei Beirechnung der Zusammensetzung des Gemisches ist auf Grund zahlreicher Beobachtungen die jährliche Absonderung pro Kopf zu 438,0 kg Harn und 48,5 kg

[1]) *J. H. Vogel*. Die Verwerthung der städtischen Abfallstoffe. Arbeiten der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft. Heft 11. Berlin. 1896. S. 15.

Koth (Verhältniss: 100 : 11,7) angenommen worden. Hieraus folgt gleichzeitig, dass die grösste absolute Menge der düngenden Bestandtheile sich im Harn vorfindet; derselbe enthält die doppelte Menge an organischen Substanzen, die sechsfache Menge an Stickstoff, etwa die doppelte Menge Phosphorsäure und beinahe die vierfache Menge Kali als die festen Ausscheidungen. Dazu kommt, dass die einzelnen Bestandtheile des Harnes sich in einer Form vorfinden, in welcher sie direct aufnehmbar sind oder in assimilirbare Verbindungen leicht übergehen, während die in dem Koth auftretenden unverdauten, wenig veränderten Bestandtheile der Nahrung erst einer Reihe von Zersetzungsprocessen unterliegen müssen, ehe dieselben seitens der Pflanzen verwerthbare Stoffe zu liefern vermögen. Dies gilt nicht nur von den Mineralstoffen, sondern besonders auch von den stickstoffhaltigen Bestandtheilen, die im Harn vornehmlich als Harnstoff, in sehr zurücktretenden Mengen als Harnsäure oder andere stickstoffhaltige Substanzen, im Koth dagegen als Eiweissstoffe und deren nächste Abkömmlinge vorkommen.

Bei der Aufbewahrung der Excremente, z. B. in Gruben, unterliegen die organischen Bestandtheile derselben Veränderungen, unter welchen die Harnstoffgährung zweifelsohne das hervorragendste Interesse bietet, insofern sich bei derselben flüchtiges kohlensaures Ammoniak in reichlichen Mengen bildet. Ausserdem geht natürlich auch ein Theil der organischen Stoffe durch die Zersetzungsprocesse verloren, während die mineralischen Bestandtheile erhalten bleiben, vorausgesetzt, dass die Gruben vollständig wasserdicht hergestellt sind. Der Abtrittdünger wird sonach, und zumal gleichzeitig Wasser aus den Haushaltungen in die Gruben gelangt, eine Zusammensetzung besitzen, welche von derjenigen der frischen Ausleerungen nicht unwesentlich abweicht. Die betreffenden Unterschiede können aus folgenden Durchschnittszahlen (nach *J. H. Vogel*) annähernd ermessen werden:

	Frische Excremente.	Abtrittdünger.
Wasser	93,70%	96,35%
Organische Substanz	4,90 „	2,77 „
Asche	1,40 „	1,39 „
Stickstoff	0,85 „	0,37 „
Phosphorsäure	0,26 „	0,16 „
Kali	0,21 „	0,15 „

Auf gleichen Wassergehalt berechnet, würde hiernach der Verlust an organischer Substanz 41,8%, an Stickstoff 55,3% betragen. In manchen Fällen, namentlich bei längerer Aufbewahrung der Absonderungen, wird der Stickstoffverlust noch grösser ausfallen und man wird nicht fehl gehen, denselben unter derartigen Umständen auf 70% zu schätzen. Dafür, dass im Allgemeinen auch Mineralstoffe verloren gehen, spricht der Umstand, dass die Behälter, in welchen die Excremente aufbewahrt werden, in der Regel nicht dicht sind, in Folge dessen ein Theil der Flüssigkeit in das umgebende Erdreich abzusickern vermag.

Die Frage, in welcher Weise den geschilderten Unzuträglichkeiten zu begegnen sei, steht mit jener über die zweckmässigste Entfernung der menschlichen Auswurfstoffe aus den Städten in einem innigen Zusammenhang; sie ist um so schwieriger zu lösen, als neben den Interessen der Landwirthschaft, die hauptsächlich auf eine billige Zufuhr der in Rede stehenden äusserst werthvollen Dungstoffe gerichtet sind, auch solche in Betracht gezogen werden müssen, welche in Rücksicht auf die

schädlichen Wirkungen der faulenden Auswurfstoffe für den Gesundheitszustand der Städtebewohner, also in sanitärer Hinsicht, sich an die Beseitigung der menschlichen Absonderungen von den Orten ihrer Ansammlung knüpfen. Trotz unendlich vieler Bemühungen und Versuche ist es zur Zeit noch nicht gelungen, ein allen diesen verschiedenen Anforderungen vollkommen entsprechendes System ausfindig zu machen. Nichtsdestoweniger erscheint es in Anbetracht der Wichtigkeit des Gegenstandes geboten, die allgemeinen Gesichtspunkte zu kennzeichnen, von welchen aus die in Vorschlag gebrachten Methoden behufs Erlangung des zur Zeit günstigsten Resultates zu beurtheilen sind[1]).

Was zunächst das noch vielfach übliche Grubensystem anlangt, so ist dasselbe wegen der namhaften Verluste an Pflanzennährstoffen, welche diese Aufbewahrungsmethode bedingt, ebenso in Rücksicht auf die damit verknüpfte Verunreinigung von Luft und Boden, sowohl vom landwirthschaftlichen wie vom hygienischen Standpunkt verwerflich. Den zu stellenden Anforderungen genügt das Tonnen- und Kübelsystem bei zweckmässiger Anordnung ungleich besser, insofern die Verunreinigung des Bodens hintangehalten wird, jene der Luft nur in einem mässigen Grade stattfindet, und, was besonders in landwirthschaftlicher Hinsicht bemerkenswerth ist, die gewonnenen Dungmassen reicher an Pflanzennährstoffen sind als die in Gruben angesammelten.

Um den immerhin auch unter solchen Verhältnissen eintretenden Verlusten an Stickstoff vorzubeugen, empfiehlt es sich, die frischen Ausleerungen mit Torfmull zu mischen (Torfstühle). Hierdurch werden nicht allein die letzteren in der vollkommensten Weise gesammelt und vor Stoffverlusten geschützt, sondern auch die im Uebrigen mit dem Kübel- resp. Tonnensystem verbundenen Missstände (Verunreinigung der Luft u. s. w.) beseitigt. Mit Recht kann behauptet werden, dass dieses Verfahren für die landwirthschaftliche Ausnutzung der in den menschlichen Auswurfstoffen enthaltenen Nährstoffe, sowie in sanitärer Hinsicht als das beste zu bezeichnen ist und von keinem anderen übertroffen wird *(J. H. Vogel)*. Wegen der hohen Transportkosten der mit Torfmull behandelten Excremente von der Stadt bis auf das Ackerland wird aber dieses Verfahren für grössere Städte nicht geeignet sein, wie leicht begreiflich ist, wenn man berücksichtigt, dass mit der Grösse der Einwohnerzahl die Production an Abfallstoffen in einem solchen Verhältniss wächst, dass immer entfernter gelegene Ländereien zu deren Verwendung herangezogen werden müssen. Dagegen verdient das Kübelsystem mit Torfmullstreuung aus den angeführten Gründen alle Beachtung für das platte Land und kleinere Ortschaften, sowie für mittelgrosse Städte.

In dem Falle, wo die Excremente wegen Erleichterung des Transportes ohne Zusatz in Kübeln oder Tonnen gesammelt werden, wird wenigstens die Benützung von Torfmull an dem Entleerungsort räthlich erscheinen, um die Auswurfstoffe aufbewahrungsfähig zu machen. Zur Herstellung des Torffäcal-Compostes

[1]) Für den vorliegenden Zweck dürfte eine kurze Besprechung der verschiedenen Verfahren genügen. Bezüglich der Details sei hingewiesen auf: *E. Heiden*, *A. Müller*, *K. von Langsdorff*. Die Verwerthung der städtischen Fäkalien. Hannover. 1885. — *J. H. Vogel*. Die Verwerthung der städtischen Abfallstoffe. Arbeiten der deutschen Landwirthschaftsgesellschaft. Heft 11. Berlin. 1896. — *A. Mayer*. Lehrbuch der Düngerlehre. Heidelberg. 1895. S. 71.

werden maschinelle Einrichtungen sich als nothwendig erweisen, unter welchen die von *H. Classen* in Ansbach (D. R. P. 44510) in Vorschlag gebrachten besondere Beachtung verdienen. Bei dem Vorkommen von Krankheitskeimen in den menschlichen Ausleerungen ist der mit Schwefelsäure angesäuerte Torfmull, welcher rasch und sicher sämmtliche pathogene Mikroorganismen tödtet, statt des gewöhnlichen zu verwenden (S. 273).

In grösseren Städten, welche über bedeutendere Mittel verfügen, werden die menschlichen Auswurfstoffe, behufs Unschädlichmachung und Benützung derselben zu landwirthschaftlichen Zwecken, mit Wasser verdünnt in unterirdische Canäle geleitet, in diesen durch fliessendes Wasser fortgespült und schliesslich zur Ueberrieselung von Acker- und Wiesenflächen benutzt (Spüljauchenrieselung). Wenngleich dadurch der beabsichtigte Zweck in Bezug auf die Städtereinigung bei sorgfältiger Ausführung der Canäle[1]) vollkommen erreicht werden dürfte, so muss doch vom landwirthschaftlichen Standpunkt die Zweckmässigkeit dieses Verfahrens entschieden bezweifelt werden.

Als ein schwerwiegender Grund kommt zunächst in Betracht, dass die Herstellung der Leitungen für die Spüljauche auf die Felder und die Anschaffung der Rieselflächen einen Kostenaufwand erfordern, der in Rücksicht auf die gegenwärtigen und aller Wahrscheinlichkeit nach weiter fortbestehenden Marktpreise für die landwirthschaftlichen Producte von vornherein sich als unrentabel erweist. Dazu kommt, dass ein grosser Theil der stickstoffhaltigen, also der werthvollsten Bestandtheile der Excremente in Folge von Zersetzungen verloren geht und auf den Rieselfeldern, weil deren Fläche im Verhältniss zur zugeführten Nährstoffmenge aus leicht erklärlichen Gründen in der Regel viel zu klein gewählt wird, eine ausserordentliche Stoffvergeudung und unter Umständen eine Uebersättigung des Bodens stattfindet, die mit den grössten Nachtheilen für das Wachsthum der angebauten Gewächse verknüpft ist. Dieses ungünstige Verhältniss zwischen Zufuhr und Verbrauch ist es, welches, abgesehen von allen übrigen mit dem in Rede stehenden Verfahren verknüpften Missständen, hauptsächlich in landwirthschaftlicher Hinsicht schwer in's Gewicht fällt.

Während nämlich unter Zugrundelegung einer starken auf 3 Jahre berechneten Stallmistdüngung (30000 kg pro ha) zum Ersatz derselben ca. 1000 cbm Spüljauche, bei der doppelten Düngung, die behufs Erzielung aussergewöhnlicher Ernten noch statthaft erscheint, also ungefähr 2000 cbm pro ha und Jahr erforderlich wären, erhalten die Rieselflächen im Vergleich hierzu in Berlin beinahe die 4fache, in Breslau die 12fache, in Danzig die 16,5fache und in Paris die 25fache Menge. Unter solchen Umständen wird also der grösste Theil der Nährstoffe, und zwar in Berlin 75%, in Breslau 92%, in Danzig 94% und in Paris 96%, nicht ausgenutzt und demgemäss nur eine geringfügige Menge derselben landwirthschaftlich verwerthet. Angesichts dieser Zahlen erscheint die Behauptung gerechtfertigt, dass die Rieselfelder unter solchen Verhältnissen eigentlich nicht landwirthschaftlichen Zwecken, sondern nur dazu dienen, die Spüljauche unterzubringen. Wollte man aber andererseits der ungeheueren Vergeudung von werthvollen Pflanzennährstoffen, welche beinahe derjenigen gleichkommt, welche mit der Einleitung der Canalwässer in die Flüsse

[1]) *G. W. Poore.* Ueber die Nachtheile einiger neueren sanitären Methoden. Graz. 1892.

verbunden ist, vorbeugen und den Rieselflächen eine Ausdehnung geben, wie solche zur landwirthschaftlichen Ausnutzung der Dungstoffe nothwendig wäre, so würde die Beschaffung geeigneter Ländereien in der Nähe der Städte nicht allein ganz ausserordentliche, häufig unüberwindliche Schwierigkeiten bieten, sondern auch eine bedeutende Mehrung der Kosten[1]) der ganzen Anlage hervorrufen, und damit die Rentabilität des Unternehmens erst recht in Frage gestellt sein.

Zu den weiteren, häufig nicht zu beseitigenden Schwierigkeiten, welche die Ueberrieselung in Verbindung mit der Canalisation bietet, ist die Beschaffung eines einerseits zur Unterhaltung der Verwesungsvorgänge, andererseits zur Unterbringung einer bedeutenden Flüssigkeitsmenge geeigneten Bodens zu rechnen. Unter den verschiedenen Bodenarten entsprechen nur die sandigen den hier zu stellenden Anforderungen, weil nur in diesen eine kräftige Oxydation der zugeführten organischen Bestandtheile und eine schnelle Abwärtsleitung der Flüssigkeit stattfindet. Auf allen anderen, feinkörnigeren Bodenarten würden bei den Mengen, in welchen die Spüljauche in Verwendung kommt, nicht allein Versumpfungen eintreten, sondern auch die Verwesungsprocesse gehemmt sein und fast ausschliesslich Fäulnissvorgänge in dem Boden in die Erscheinung treten. Aus diesen Gründen wird gar nicht selten von der Anlage von Rieselflächen behufs Ausnutzung der Spüljauche wegen Mangel an Grundstücken mit der erforderlichen Bodenbeschaffenheit Abstand genommen werden müssen.

Bei zu geringem Umfang der Rieselflächen im Verhältniss zur Spüljauche macht sich, abgesehen von der hierdurch veranlassten, das Pflanzenwachsthum nachtheilig beeinflussenden Uebersättigung des Bodens mit Nährstoffen häufig noch der Uebelstand geltend, dass die in der Spüljauche suspendirten festen organischen Bestandtheile in den Poren des Bodens zurückgehalten werden, die Permeabilität desselben für Luft und Wasser stetig vermindern und auf diese Weise ihn seiner werthvollsten Eigenschaften berauben. Unter solchen Umständen kann zwar Abhilfe dadurch geschaffen werden, dass man die Spüljauche vor der Aufbringung auf die Rieselfelder klärt, aber die Anlage der hierzu erforderlichen Einrichtungen[2]) ruft einen nicht unerheblichen Kostenaufwand hervor, welcher mit einer weiteren Einschränkung der Rentabilität des ganzen Unternehmens naturgemäss verknüpft ist.

In Ansehung der vorstehend geschilderten Verhältnisse wird man der Anschauung, dass die Verwendung der Spüljauche zur Berieselung von Acker- und Wiesenflächen vom landwirthschaftlichen Standpunkt nicht befürwortet werden und in dieser Beziehung als ein rationelles Verfahren nicht bezeichnet werden kann, die Anerkennung wohl schwerlich vorenthalten können. Wenn dieses Verfahren dennoch wegen der Vortheile, welche dasselbe in sanitärer Hinsicht bietet, beibehalten werden will, so bleibt zu berücksichtigen, dass letzterer Umstand hierbei ausschliesslich als ausschlaggebend zu betrachten ist, nicht der finanzielle Erfolg, auf welchen man in der Mehrzahl der Fälle wird Verzicht leisten müssen. Dieser Nachtheil kann um so eher in den Kauf genommen werden, als die Gesundheit des Menschen und seine Lebensansprüche zweifelsohne an erster Stelle in Frage kommen.

---

[1]) Hierbei muss besonders auch in Betracht gezogen werden, dass die Preise für die anzukaufenden Grundstücke durch die Speculation der Besitzer meist in einem bedeutenden Grade gesteigert werden.

[2]) *J. H. Vogel.* a. a. O. S. 299.

Bei dem *Liernur*'schen System, welches in gewissem Sinne zwischen Canalisation und Abfuhr steht und in grösstem Maassstab bisher in Amsterdam durchgeführt worden ist, werden die menschlichen Ausscheidungen, getrennt von den Haus-, Fabrik- und Regenwässern mit theilweiser Wasserspülung, in eisernen Röhren abgeleitet und auf pneumatischem Wege nach einer Hauptsammelstelle behufs weiterer Verarbeitung befördert. Trotz der technischen Vollkommenheit dieses Systems und der Vortheile, welche es in hygienischer Hinsicht bietet, hat dasselbe nur wenig Eingang gefunden, einerseits wegen der sehr bedeutenden Kosten der Einrichtung, andererseits weil die gesammelten Fäcalmassen durch die Zufuhr von Wasser sehr verdünnt werden.

Von den übrigen Methoden, welche eine Unschädlichmachung und gleichzeitige Verwerthung der menschlichen Entleerungen in der Landwirthschaft bezwecken, bieten jene ein besonderes Interesse, welche darauf hinauslaufen, die Auswurfstoffe zu einem concentrirten und für weite Entfernungen transportfähigen Handelsdünger (Poudrette) zu verarbeiten. Obwohl die nach dieser Richtung hin unternommenen zahlreichen Versuche noch zu keinem vollständig befriedigenden Ergebniss geführt haben, insofern, als die Beseitigung der grossen Feuchtigkeitsmengen aus den Fäcalien einen übermässigen Kostenaufwand erheischt, so ist doch die Hoffnung nicht aufzugeben, dass es mit der Zeit gelingen werde, dieses Problem in befriedigender Weise zu lösen, zumal es bereits geglückt ist, die sich darbietenden Schwierigkeiten zum Theil zu beseitigen. Dies kann besonders u. a. von dem System von *v. Podewils* in Augsburg[1]) behauptet werden, bei welchem die im Ueberschuss mit Schwefelsäure versetzten Auswurfstoffe zunächst in einem Kessel, dann weiterhin in Trockentrommeln bis auf 20—30% Wassergehalt eingedampft und schliesslich in einem aus drei ineinander geschobenen und gegenseitig abgedichteten Kesseln bestehenden sogen. Concentrator eingetrocknet werden. Für die Beurtheilung der Rentabilität der Poudrettefabrikation nach diesem Verfahren spricht zwar zunächst das längere Bestehen des *v. Podewils*'schen Etablissements, doch ist der klare Einblick in diese Verhältnisse durch den Umstand erschwert, dass die Poudrette meist nicht als solche, sondern im Gemisch mit verschiedenen Kunstdüngern (Superphosphat, schwefelsaures Ammoniak, Knochenmehl, unter der Bezeichnung Fäcalguano, Fäcalsuperphosphat, Fäcalammoniaksuperhposphat, Fäcalknochenguano) in den Handel gebracht wird und sich demnach nicht ermessen lässt, ob nicht der erzielte Gewinn zum grösseren Theil auf Conto jener werthvollen Beimengungen zu stellen ist. Uebrigens wird zweifelsohne für die Rentabilität derartiger Unternehmungen der Wassergehalt der Auswurfstoffe maassgebend sein. Der wenig verdünnte und zersetzte Inhalt von Tonnen, Kübeln und Gruben wird sich unstreitig am besten für die Herstellung der Poudrette eignen[2]), während der verwässerte und stark vergohrene Auswurf aus Gruben und Tonnen ohne Beimengung von Haus- und Küchenwässern, im Falle die Verdünnung nicht 100—150% übersteigt, zweckmässiger auf schwefelsaures Ammoniak verarbeitet wird[3]). Durch die Herstellung des letzteren und von Poudrette aus den Rückständen dürften nicht allein alle Unkosten gedeckt

[1]) *J. H. Vogel.* a. a. O. S. 346.

[2]) Die von *v Podewils* verarbeiteten Fäcalien sind in Tonnen ohne Wasserspülung gesammelt.

[3]) *J. H. Vogel.* a. a. O. S. 392.

werden, sondern sich überdies ein ausreichender Gewinn ergeben, wobei allerdings vorausgesetzt werden muss, dass die Stadt die Kosten für die ihr ohnehin obliegende Abfuhr leistet und demnach die Auswürfe kostenfrei der Fabrik liefert. Die stark mit Wasser verdünnten, nach dem *Liernur*'schen System gewonnenen Auswurfstoffe erscheinen für die Poudrettirung nicht und höchstens für die Fabrication von schwefelsaurem Ammoniak und Poudrettekuchen geeignet.

Die Herstellung von Handelsdüngern bezeichneter Art hat für Orte, in welchen die Auswurfstoffe im unverdünnten oder mässig verwässerten Zustande abgeführt werden, die Bedeutung, dass dadurch den in hygienischer und landwirthschaftlicher Beziehung zu stellenden Anforderungen zwar noch nicht in einer ganz vollkommenen, doch immerhin zufriedenstellenden Weise Genüge geleistet wird. Zur sicheren Abtödtung der in den Fäcalien enthaltenen Krankheitskeime wird besonders die Verarbeitung auf schwefelsaures Ammoniak oder gegebenen Falls die Zufuhr überschüssiger Schwefelsäuremengen bei der Poudrettefabrikation sich als vollständig zuverlässig erweisen.

4. Die Abfälle organischen Ursprungs.

Es giebt eine nicht unbeträchtliche Anzahl von Abfällen, welche sich in den Wirthschaften selbst oder in landwirthschaftlichen Nebengewerben, sowie in den Schlachthäusern, bei der Conservirung der Seethiere u. s. w. ergeben und die entweder direct zu Düngungszwecken verwendet werden oder nach vorheriger Präparation als sogen. künstliche Düngemittel in den Handel gebracht werden. Diese Materialien sind entweder thierischen oder pflanzlichen Ursprungs und können demgemäss in zwei Gruppen gebracht werden.

a) Die Abfälle thierischen Ursprungs.

Unter den hier in Betracht zu ziehenden Abfällen thierischen Ursprungs bieten diejenigen, welche von gefallenen und geschlachteten Thieren gewonnen werden, zunächst ein Interesse. Hierher gehören vor Allem die Knochen, die Haut, Haare, Hörner, Klauen und ein Theil der Eingeweide.

Die Knochen bestehen grösstentheils aus Mineralstoffen, unter welchen das Kalkphosphat vorherrscht, während die organischen Substanzen zurücktreten. Im rohen Zustande kommen die Knochen niemals in Anwendung, sondern dieselben werden nach vorangegangenem Dämpfen unter höherem Druck zerkleinert, vielfach noch mit Hilfe von Benzin entfettet und in Form eines feinen Pulvers, als gedämpftes Knochenmehl von folgender Zusammensetzung (nach *W. Ivison Macadam*) in den Handel gebracht:

Wasser	5,2— 9,8 %
Stickstoffhaltige organische Stoffe	15,1—21,8 „
Stickstoff, entsprechend Ammoniak	2,0— 3,6 „
Phosphorsaure Salze	58,2—67,9 „
Kohlensaurer Kalk	5,9—11,5 „
Alkalisalze	0,4— 0,9 „ .

Die organischen Stoffe unterliegen in dem feuchten Boden leicht dem Zerfall (S. 114), wobei nicht unbeträchtliche Mengen von Ammoniak gebildet werden. Aus diesem Grunde würde die Aufbringung des Knochenmehls kurze Zeit vor dem Anbau

räthlich erscheinen, wenn nicht andererseits auf das Kalkphosphat, den wichtigsten Bestandtheil, Rücksicht zu nehmen wäre. Da letzteres schwerlöslich ist, wäre unter solchen Umständen die Wirkung der Phosphorsäure nur eine schwache. Deshalb wird es geboten sein, die Knochenmehldüngung längere Zeit vor der Saat, also für Sommerfrüchte, bereits im Herbst vorzunehmen oder das Knochenmehl einer vorgängigen Zersetzung zu unterziehen, wenn man durch dasselbe eine schnellere Wirkung hervorrufen will. Zu letzterem Zweck wird aus dem Düngemittel ein Haufen gebildet, in welchem die einzelnen dünnen nach und nach aufeinandergelagerten Schichten mit Wasser oder Jauche angefeuchtet werden, worauf die Masse mit einer 10—15 cm starken Erdschicht überdeckt wird. In der Folge unterliegen die organischen Substanzen einer mit Wärmeentwickelung verbundenen intensiven Zersetzung, bei welcher Ammoniak in reichlichen Mengen entwickelt und durch dieses ein Theil des basisch phosphorsauren Kalkes gelöst wird. Nachdem der Haufen die äussere Temperatur angenommen hat, wird der Inhalt desselben mit der überdeckten Erde gemischt und in dieser Form zur Düngung verwendet. Diese Art der Zubereitung (Compostiren oder Fermentiren) des Knochenmehls ist sehr zu empfehlen, wenn man mit demselben eine schnellere Wirkung erzielen will.

Die übrigen von gefallenen oder geschlachteten Thieren gewonnenen Abfälle besitzen eine sehr verschiedene Zusammensetzung. Das Fleisch enthält bei einem Wassergehalt von 74—80 % vornehmlich organische Stoffe, unter welchen besonders die Eiweisstoffe in grösster Menge vertreten sind. Der Fettgehalt beträgt 1—2,5 %, der Gehalt an Phosphorsäure etwa 0,5—0,7 %. Ebenso ist das Blut reichlich mit stickstoffhaltigen Bestandtheilen versehen. Die Epidermoidalgebilde (Haare, Hörner, Klauen) bestehen grösstentheils aus eigenthümlichen stickstoffreichen organischen Substanzen, während die Menge der Mineralstoffe, wie in Fleisch und Blut, wesentlich zurücktritt. Die im Uebrigen in Betracht kommenden Abfälle, nämlich die Gedärme und Mägen sammt deren Inhalt, sind als Düngemittel den vorbezeichneten Materialien und selbst gutem Stallmist gegenüber von ungleich geringerem Werth.

Die Nutzbarmachung der genannten thierischen Abfälle zu Düngungszwecken erfolgt in sehr verschiedener Weise, und zwar dadurch, dass dieselben entweder compostirt oder zu Handelsdüngern verarbeitet werden. Wo dieselben in der eigenen Wirthschaft, auf kleineren Schlacht- und Viehhöfen, also in geringer Menge, gewonnen werden, empfiehlt sich wohl das erstere Verfahren, indem man dabei die Vorsicht anwendet, die Abfallstoffe in Kalkmilch einzubetten, falls etwa pathogene Mikroorganismen zu vernichten wären. Eine weitere Vorbereitung bedürfen jene Abfälle nicht, weil sie, auch bei grösserem Fettgehalt (S. 111) sehr leicht dem Zerfall unterliegen, mit Ausnahme der Horngebilde, die sich ausserordentlich resistent verhalten. Diesem Uebelstande kann zum Theil durch Behandlung derselben mit Aetzkalk begegnet werden, welcher hier die Bedeutung hat, dass er die Textur jener Substanzen auflockert und dadurch der Wirkung der Verwesungsfactoren Vorschub leistet.

In den übrigen Fällen wird die Verarbeitung der in Rede stehenden Abfälle zu Handelsdüngern schon aus dem Grunde vortheilhafter sein, als dieselben dadurch auf weite Entfernungen transportfähig werden und eine grössere Sicherheit in Bezug auf die Tödtung etwa vorhandener Krankheitskeime gegeben ist. Dies gilt besonders

von den Schlachthaus- und Abdeckerei-Abfällen, die am besten zur Herstellung von Poudrette benutzt werden, indem man sie mit 2—3% Schwefelsäure versetzt und darauf bei einer 100° C. zeitweise übersteigenden Kochhitze eindampft. Die eingetrocknete Masse (Poudrette) zeigte im Vergleich zu den frischen Schlachthausabfällen nach einer von *J. H. Vogel*[1]) vorgenommenen Untersuchung folgende Zusammensetzung:

	Poudrette.	Frische Schlachthausabfälle.
Wasser	9,54%	81,34%
Trockensubstanz	90,46 „	18,66 „
Organischer Stickstoff . .	1,68 „	0,50 „
Ammoniakstickstoff . . .	0,64 „	0,04 „
Gesammtstickstoff	2,32 „	0,54 „
Phosphorsäure	1,23 „	0,31 „
Schwefelsäure	7,73 „	Spuren.

Ein irgendwie in Betracht kommender Verlust an Pflanzennährstoffen findet bei der Poudrettirung nicht statt, wie folgende Zahlen darthun, bei deren Berechnung ein gleicher Trockensubstanzgehalt zu Grunde gelegt und bei der Poudrette ausserdem die Schwefelsäuremenge in Abzug gebracht worden ist:

	Poudrette.	Schlachthausabfälle.
Organischer Stickstoff . .	2,02%	2,68%
Ammoniakstickstoff . . .	0,78 „	0,21 „
Gesammtstickstoff	2,80 „	2,89 „
Phosphorsäure	1,49 „	1,66 „

Die Unkosten der Herstellung werden durch den Verkauf dieser Poudrette gedeckt; unter günstigen Umständen wird noch ein mässiger Ueberschuss erzielt. Bei der Verarbeitung der Abdeckereiabfälle ist der Gewinn insofern sicherer als hierbei neben dem Dünger noch Fett als Nebenprodukt gewonnen wird.

Zuweilen werden auch aus den Abfällen, welche von den Schlachtthieren oder in Fabriken bei der Verarbeitung gewisser thierischer Producte (Wolle, Fischbein u. s. w.) gewonnen werden, pulverförmige Handelsdünger, wie Blut- und Fleischmehl (Fray-Bentos-Guano), Hornmehl, Wollstaub (Shoddy), Fischbeinmehl hergestellt und in den Handel gebracht. Diese Düngemittel enthalten nach den Angaben von *W. Jvison Macadam* folgende Bestandtheile:

In Procenten.

Bestandtheile.	Blutmehl.	Fray-Bentos-Guano[2]).	Hornmehl.		Woll-staub (Shoddy).	Fischbeinmehl[2]).	
			1[2]).	2.		1.	2.
Wasser	10,56	8,6—10,9	11,32	15,84	7,92	6,72	5,16
Organische Stoffe .	86,92	53,3—62,2	46,64	79,28	70,52	29,52	30,32
Stickstoff entsprechend Ammoniak . .	17,24	7,4— 9,6	9,63	14,82	7,56	4,82	4,83
Alkalisalze	(Salze:	0,8— 1,5	0,75	0,81	0,56	1,34	1,04
Phosphorsaure Salze	2,52)	21,1—31,6	10,36	0,84	0,92	53,12	54,24
Kohlensaurer Kalk .	—	3,4— 4,7	6,61	1,95	5,54	7,82	4,76
Sand	—	—	—	—	10,58	—	—

[1]) *J. H. Vogel.* a. a. O. S. 469.

[2]) Im Vergleich zu den Rohmaterialien weisen die Analysen von Fray-Bentos-Guano-Hornmehl und Fischbeinmehl einen ganz abnormen Gehalt an phosphorsauren Salzen auf, der

Von diesen Düngemitteln verdienen nur die beiden ersten eine directe Anwendung, während die übrigen wegen der langsamen Zersetzung der organischen Substanzen zweckmässiger mit anderen Abfällen compostirt werden. Der aus den Fleischextractrückständen bereitete Fray-Bentos-Guano kann im reinen Zustande indessen auch zu Fütterungszwecken bei Schweinen benutzt werden und dadurch eine höhere Verwerthung finden.

In neuerer Zeit erscheinen grosse Mengen eines Productes auf dem Düngermarkt, welches aus den Rückständen bei der Zubereitung verschiedener Seefische (Sprotten, Häringe, Dorsch, Kabliau, Stockfisch u. s. w.) oder aus ganzen Seethieren (Häringe, Krebsthieren) hergestellt wird und die Bezeichnung „Fischguano" führt. Diese Düngemittel sind durch einen grossen Gehalt an stickstoffhaltigen organischen Substanzen ausgezeichnet und besitzen ausserdem noch ansehnliche Mengen von phosphorsauren Salzen, wie folgende Analysen nach *W. Ivison Macadam* und *E. Heiden*[1]) darthun:

Bestandtheile.	Norwegischer Fisch-Guano.	Anchovis-Guano.	Häring-Guano.	Stockfisch-Guano.	Schottischer Fisch-Guano.	Französischer Fisch-Guano.	Garnat-Guano[2]).
Wasser	6,1—10,7	8,06	6,14	6,24	22,9—42,9	1,0	?
Stickstoffhaltige organ. Stoffe	42,7—76,0	66,18	70,18	57,68	24,3—47,0	80,0	69,21
Stickstoff entsprechend Ammoniak	5,2—11,8	8,62	10,42	10,13	3,1— 5,2	14.6	12.10
Alkalisalze	0,6—10.9	4,54	1,56	2,12	6,6—15,3	?	?
Phosphorsaure Salze	12,9—29,4	14,92	7,92	26,17	7,2—19,0	14.1	5,26
Kohlensaurer Kalk	3,1—24,3	3,28	3,68	6,35	1,9—23,7	0,06	6,32

Die organischen Substanzen in diesen Düngemitteln zersetzen sich verhältnissmässig leicht, weshalb man letztere, in gleicher Weise wie das Blut- und Fleischmehl direct verwenden kann. Ihre Wirkung ist eine um so bessere, je feinpulveriger sie sind. Am zweckmässigsten werden sie auf leichten Bodenarten benutzt und tief untergepflügt, weil sonst die gröberen Theilchen von Krähen und Katzen, durch den Geruch angelockt, aus der Erde gescharrt werden. In Rücksicht darauf, dass sich die Wirksamkeit dieser Düngemittel nicht auf grössere Entfernungen erstreckt, dürfte es angezeigt sein, dieselben nach der Unterbringung mit Hilfe eines Exstirpators mit dem Boden zu mischen.

Die Lederabfälle können, weil sie den Zersetzungsfactoren gegenüber sich äusserst resistent verhalten (S. 114), nur nach vorangegangener Präparation zu Düngungszwecken benutzt werden. Es geschieht dies durch Dämpfen unter höherem Druck, auf welches ein Trocknen und Mahlen folgt. Das in dieser Weise bereitete Ledermehl, welches etwa 9% Stickstoff und 17% phosphorsaure Salze enthält, zersetzt sich immerhin noch so langsam, dass es sich empfiehlt, dasselbe vor der Verwendung zu compostiren.

sich nur aus einer Beimengung eines phosphorsäurereichen Materials erklären lässt. Dieser Zusatz dürfte aus Knochenmehl bestehen, wie aus dem höheren Gehalt der betreffenden Dungmittel an kohlensaurem Kalk geschlossen werden darf.

[1]) *E. Heiden.* Lehrbuch der Düngerlehre. Stuttgart. 1868. Bd. II. S. 287.

[2]) Aus kleinen Krebsen (Crangon vulgaris. F.) bereitet.

Zur Compostbereitung eignen sich schliesslich noch Maikäfer, Engerlinge, Würmer u. s. w., welche zuvor mit kochendem Wasser getödtet werden. Dieselben sind reich an stickstoffhaltigen Substanzen, unter welchen bei den Maikäfern das schwer zersetzbare Chitin in bedeutenderen Mengen auftritt. Bei der Compostirung dieser Thiere wird die Verwendung von Aetzkalk sich nützlich erweisen, aus denselben Gründen, welche für dieses Verfahren bei der Herrichtung der hornigen Gebilde sprechen.

b) Die Abfälle vegetabilischen Ursprungs.

Die verschiedenen pflanzlichen Abfälle, welche in den Wirthschaften und in den Nebengewerben gewonnen werden, finden die zweckmässigste Verwendung bei der Compostbereitung (siehe S. 435). Die unter Umständen in grossen Mengen gesammelten Unkrautpflanzen werden unter der Voraussetzung, dass dieselben noch keine Samen angesetzt haben, am zweckmässigsten, wenn irgend möglich, im frischen Zustande zur Compostirung verwendet, weil sie sich in diesem ungleich schneller zersetzen, als im trockenen (S. 115). Das Kehricht von Heu-, Fruchtböden und Scheunen, welches in der Regel sehr reich an Unkrautsämereien ist und deshalb nicht ohne Weiteres in den Komposthaufen gebracht werden darf, der zur Düngung von Ackerländereien bestimmt ist, muss zuvor mit siedendem Wasser übergossen und gebrüht werden, um die Keimkraft der Samen zu zerstören. Indessen wird in dem Betracht, dass dieses Mittel nicht immer den beabsichtigten Zweck erreichen lässt und einen Kostenaufwand erfordert, der zu dem Dungwerth der betreffenden Materialien in einem ungünstigen Verhältniss steht, die Vernichtung jener Abfälle durch Feuer, um sicher zu gehen, zweckmässiger erscheinen. An den Meeresküsten können die aufgelesenen Algen und Tange, den Familien der Fucoïdeen und Florideen angehörend, sowie das Seegras (Zostera maritima) zur Herstellung eines wirksamen Compostdüngers benutzt werden. Die Zusammensetzung dieser Pflanzen ist nach den Analysen von *A. von Sengebusch*[1]) und *A. Mayer*[2]) etwa folgende:

	In 100 Theilen Trockensubstanz		
	Seegras (Zostera maritima.)	Blasentang (Fucus vesiculosus.)	Algen aus der Nordsee.
Organische Substanz	85,11	79,28	83,77
Stickstoff	2,56 1,57	0,88 0,42—2,43	1,06
Phosphorsäure . .	0,87	1,21	0,17
Kali	2,88	2,08	0,86.

Die Seegewächse besitzen sonach eine wechselnde Zusammensetzung, und zwar werden die betreffenden Schwankungen bedingt durch die verschiedenen Mengen der denselben anhaftenden Seethiere. Im Grossen und Ganzen ergiebt sich aber doch, dass mittelst dieser Gewächse ein an stickstoffhaltigen Bestandtheilen reicher Dünger gewonnen wird, der unter Umständen auch einen höheren Gehalt an Kali und demnächst an Phosphorsäure aufweisen kann. Auch bei der Verarbeitung dieser Gewächse zu Compost wird es vortheilhaft sein, dieselben im frischen Zustande zu verwenden, wobei ferner zu berücksichtigen ist, dass die Algen und Tange sich ungleich schneller zersetzen als das Seegras, welches sich ziemlich resistent verhält.

[1]) *A. von Sengebusch.* Deutsche landwirthschaftliche Presse. 1894. Nr. 94. S. 879.

[2]) *A. Mayer.* Lehrbuch der Düngerlehre. Heidelberg. 1895. S. 102.

Die Mehrzahl der in den landwirthschaftlichen Nebengewerben sich ergebenden Abfälle wird durch Verfütterung weit höher verwerthet als durch Benutzung derselben zur Düngung. Nur in dem Falle, wo diese Materialien sich für ersteren Zweck nicht eignen sollten, weil sie entweder in Zersetzung übergegangen oder mit schädlichen Beimengungen versehen sind, werden sie allerdings keine andere Verwendung als zur Düngung finden können. Dies gilt z. B. von verdorbenen Oelkuchen und Trebern, von verunreinigten Malzkeimen, Rückständen der Stärkefabrikation u. s. w. Anderenfalls dienen die Rückstände der Zucker-, Wein- und Obstweinbereitung, die Abfälle der Oel- und Tabakfabrikation u. s. w. ausschliesslich zur Düngung, am besten wohl zunächst zur Compostbereitung. Ueber die Zusammensetzung dieser Materialien nach *E. Wolff* und *E. Heiden* giebt die folgende Tabelle Auskunft:

In Procenten:

Bestandtheile.	Oelkuchen von			Bier-treber.	Malz-keime	Rückstände der Stärkefabrikation von			Scheideschlamm aus Zuckerfabriken.	Schlamm aus Oelraffinerien[1].	Abfälle bei der Tabakfabrikation[2].
	Raps.	Lein.	Mohn.			Kartoffeln.	Mais (halb trocken).	Reis (gepresst).			
Wasser . . .	10,40	11,80	10,70	76,10	11,80	86,00	40,80	55,80	43,3	12,0	32,2
Organische Stoffe	81,90	70,90	78,10	23,60	80,60	13,60	58,50	43,60	15,3	23,8	10,6
Stickstoff . . .	4,65	4,56	4,67	0,78	2,49	0,13	1,79	1,97	0,4	0,7	0,3
Phosphorsäure .	1,84	1,57	2,90	0,39	1,24		(Asche:)		1,2	3,6	0,8
Kali	1,19	1,21	0,21	0,04	1,41	(0,4)	(0,7)	(0,6)	0,2	?	1,8

Die Zersetzung der organischen Stoffe geht in allen diesen Materialien ziemlich schnell vor sich. Ueber die Menge der dabei entstehenden assimilirbaren Nährstoffe geben die mitgetheilten Zahlen näheren Aufschluss.

5. Der Compost oder Mengedünger.

Die Compostbereitung bezweckt die Ueberführung der in den verschiedenen Abfällen organischen Ursprungs enthaltenen Pflanzennährstoffe in den aufnehmbaren Zustand. Dies wird dadurch erreicht, dass die betreffenden Materialien unter Bedingungen gebracht werden, unter welchen in denselben ein nach Maassgabe ihrer Zersetzungsfähigkeit mehr oder weniger intensiver Verwesungsprocess stattfinden kann. In dem Betracht, dass die Abfälle für sich in solcher Weise behandelt, besonders in späteren Stadien des Zerfalls, in Fäulniss übergehen und gleichzeitig grössere Mengen von Stickstoff in Form von Ammoniak verloren gehen würden, wird bei der Herstellung des Mengedüngers Erde, und zwar am besten humusreiche (Moder- und Torferde) benutzt, durch welche die ganze Masse eine Beschaffenheit erhält, bei welcher sie der Luft innerhalb gewisser Grenzen zugänglich bleibt und ausserdem einerseits das Ammoniak vor Verflüchtigung geschützt und andererseits auch einem Verlust an löslichen Mineralstoffen, wie solcher möglicherweise durch Auswaschungen herbeigeführt werden kann, vorgebeugt wird.

In der Regel wird der Komposthaufen in der Weise aufgeführt, dass die verschiedenen Abfälle schichtweise abwechselnd mit Erde übereinander gelagert werden. Sobald der Haufen fertig gestellt ist, wird derselbe mit einer 30—40 cm starken Erdschicht überdeckt, welche dazu dient, etwa entweichendes Ammoniak zu absor-

[1]) Mit einem Gehalt von 23,5 % Oel und 27,7 % Schwefelsäure.

[2]) Enthält 38,51 % Sand und Thon.

biren und den inneren Partien einen Schutz gegen Austrocknung zu gewähren. Für den Fall, dass der Compostdünger im Winter auf Wiesen ausgefahren werden soll, ist behufs Verhinderung des Eindringens des Frostes überdies noch eine Bedeckung mit Materialien, welche die Wärme schlecht leiten, vorzunehmen, also mit Stroh, Kartoffelkraut, Quecken, Reisig u. s. w.

Zur Unterhaltung der Verwesungsprocesse in der Masse ist es nothwendig, dieselbe stets in einem mittleren Feuchtigkeitsgrad und innerhalb gewisser Grenzen für die Luft zugänglich zu erhalten. Zu diesem Zweck muss der Haufen in entsprechender Weise mit Wasser oder Jauche angefeuchtet, und, wenn er sich fest zusammengesetzt hat, was namentlich bei Verwendung von feinkörniger Erde, Ausraum aus den Gräben, Abraum von Wegen und Chausseen, Schlamm aus Flüssen und Teichen u. s. w. und bei längerer Aufbewahrung leicht eintritt, umgesetzt werden. Letzteres geschieht in der Weise, dass er in senkrechter Richtung abgestochen und dicht neben dem früheren Standort von Neuem aufgeschichtet wird.

Bei dieser Anordnung und Behandlung unterliegen die pflanzlichen und thierischen Reste in dem Composthaufen einem Verwesungsprocess, bei welchem die organischen Stoffe sich grossentheils verflüchtigen und die stickstoffhaltigen sowie die mineralischen Bestandtheile allmählich nach Maassgabe des Verlaufes der Zersetzung in den assimilirbaren Zustand übergehen. Diese löslichen Verbindungen werden von den erdigen Bestandtheilen aufgenommen, so dass man schliesslich ein mit reichlichen Mengen von humosen Bestandtheilen und von löslichen Pflanzennährstoffen versehenes erdiges Gemenge erhält, eben den Compost oder Mengedünger. Die Zersetzungsprocesse werden als beendigt betrachtet, wenn die dem Haufen einverleibten organischen Reste nicht mehr erkennbar sind.

In Rücksicht auf die verschiedene Zersetzungsfähigkeit der der Compostirung unterworfenen Abfälle wird es gerathen erscheinen, mehrere Haufen anzulegen und in diesen solche Rückstände zu vereinigen, welche hinsichtlich ihres Zerfalls ein ähnliches Verhalten zeigen. Diese Maassregel ist überdies aber auch bezüglich der Materialien von annähernd gleichen Eigenschaften in Anwendung zu bringen, insofern der Compost längere Zeit bedarf ehe er reif, d. h. verwendbar wird und derselbe die organischen Reste in verschiedenen Stadien des Zerfalls enthalten würde, wenn man den betreffenden Haufen nach und nach mit dem jeweils anfallenden Material beschicken wollte. Aus diesem Grunde ist dafür Sorge zu tragen, dass stets mehrere Haufen auch von verschiedenem Alter, also von verschiedener Reife vorhanden seien. Gegebenen Falls können die Haufen, welche verschiedene Abfälle einschliessen und deshalb einen verschiedenen Gehalt an Pflanzennährstoffen besitzen, vor der Verwendung mit einander vereinigt werden, sobald sie im Uebrigen in Bezug auf den Zersetzungsgrad mehr oder weniger mit einander übereinstimmen.

Verschiedene zur Compostirung verwendete Abfälle bedürfen einer vorgängigen Zubereitung. So muss das Fleisch gefallener Thiere zunächst von den Knochen getrennt werden. Zu diesem Zweck werden die betreffenden Theile 2—3 Stunden ausgekocht, worauf das Fleisch sich leicht von den Knochen loslösen lässt. Durch Anwendung von Wasserdampf wird dies schneller erreicht. Das sich abscheidende Fett wird von der Brühe abgeschöpft, welche weiterhin zur Anfeuchtung der Composterde dient. Die Knochen werden, falls man es nicht vorzieht, dieselben zu verkaufen, zerkleinert und ebenfalls ausgekocht, wobei man dem Wasser, wie im vorigen

Fall, etwas Schwefelsäure zusetzt. Die hornigen Gebilde, werden gleichergestalt zerkleinert und mit frisch gelöschtem Kalk behandelt. Dasselbe gilt auch von den Maikäfern, welche in dünner Lage in den Composthaufen verbracht werden, und als Unterlage und als Decke eine Schicht Aetzkalk von der Dicke eines Messerrückens erhalten. Bei der Compostirung von Rasenstücken und Plaggen wird aus diesen ein Haufen aufgerichtet, indem die Stücke mit der Rasenseite nach unten schichtenweise aufeinander gelegt und die einzelnen Schichten mit gelöschtem Kalk überstreut werden, zu dem Zweck, um die vorhandenen Humussäuren zu binden und die Zersetzung derselben zu fördern.

Unter Umständen, nämlich bei solchen Abfällen, welche viel Ammoniak entwickeln (stickstoffreiche Abfälle) wird die Anwendung von Conservirungsmitteln (Superphosphatgips, angesäuerter Torfmull) füglich nicht umgangen werden können. Im Uebrigen ist für das Schicksal der bei der Zersetzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile der organischen Substanzen entstehenden Verbindungen das Mengenverhältniss zwischen der Erde und den thierischen und pflanzlichen Abfällen maassgebend (S. 101). Je enger dieses ist, um so grössere Mengen von Ammoniak werden gebildet, während bei einem weiteren Verhältniss das entstandene Ammoniak in grösserem Umfange nitrificirt wird. Nach *P. Pichard* kann angenommen werden, dass bei dem Vorhandensein von 2—3 gr organischen Stickstoffs pro 1 kg der Masse vornehmlich Ammoniak erzeugt wird, dass dagegen bei Verminderung des Stickstoffs auf 1 gr pro 1 kg die günstigsten Bedingungen zu einer energischen Nitrification bei dem Vorhandensein genügender Kalkmengen gegeben sind. Man hat es daher in der Hand, die Umbildung der stickstoffhaltigen Bestandtheile in dem Composthaufen künstlich zu beeinflussen, d. h. in dem einen Fall einen ammoniakreichen, in dem anderen einen vornehmlich mit salpetersauren Salzen versehenen Dünger herzustellen. In praktischer Hinsicht kommt aber dieser Unterschied nicht wesentlich in Betracht, weil das Ammoniak, sobald der Compost mit dem Boden gemischt ist, schnell genug nitrificirt. Die künstliche Erzeugung von Salpeterstickstoff ist übrigens begrenzt und erstreckt sich nach Verlauf von sechs Monaten unter den günstigsten Bedingungen nur auf 50 % des vorhandenen organischen Stickstoffs.

6. Die Gründüngung.

Mit Gründüngung wird das Verfahren bezeichnet, bei welchem Pflanzen in unreifem, völlig saftigem Zustande dem Boden einverleibt werden. In der Regel werden die betreffenden Gewächse zu diesem Zweck angebaut und an ihrem Standort untergebracht. Selten werden hierzu wildwachsende oder solche Pflanzen benutzt, welche sich an einer anderen Oertlichkeit entwickelt haben. Die Wirkung der Gründüngung auf die Fruchtbarkeit des Bodens ist kurz dahin zu präcisiren, dass mittelst derselben hauptsächlich eine Bereicherung des Bodens an organischen, humusbildenden Stoffen erzielt und dort, wo die Pflanzen an ihrem Standort untergeackert werden, auch die Auswaschung von Pflanzennährstoffen, besonders von Nitraten, gehemmt wird (S. 329 und 349).

Der Anbau der Gründüngungspflanzen geschieht als Hauptsaat, als Untersaat oder Stoppelsaat. Im ersteren Fall werden die Gründüngungspflanzen im Frühjahr angebaut, im Herbst untergebracht, in Folge dessen auf eine anderweitige Ernte während der Vegetationszeit Verzicht geleistet wird. Bei den anderen beiden Methoden wird

letzterer Uebelstand vermieden, indem die Gründüngungspflanzen bei der Unter- oder Zwischensaat im Frühjahr in eine im Wachsthum befindliche Hauptfrucht (z. B. in Wintergetreide) und bei der Stoppelsaat nach Aberntung der Hauptfrucht ausgesäet werden[1]). Für die Auswahl unter diesen verschiedenen Verfahren sind die Vegetationsverhältnisse an der betreffenden Oertlichkeit entscheidend. In einem Klima mit unregelmässiger Vertheilung der Niederschläge und auf einem Boden von geringer Wassercapacität (sandige Böden) ist die Untersaat nicht zu empfehlen, weil dieselbe dem Boden viel Wasser entzieht und dadurch das Wachsthum der Hauptfrucht geschädigt wird. Unter derartigen Umständen wird besonders in extensiven Betrieben und auf Aussenschlägen das an erster Stelle angeführte Verfahren die besten und in vielen Fällen auch sicherere Erfolge gewähren als die Stoppelsaat, deren Gedeihen nur dann den Anforderungen entspricht, wenn nach Aberntung der Hauptfrucht sich genügende Feuchtigkeitsmengen im Boden vorfinden oder ergiebige Niederschläge in der Folgezeit stattfinden. Die Untersaat eignet sich nur für Bodenarten, welche das Wasser gut zurückzuhalten vermögen. In denjenigen Fällen, wo in Folge günstiger klimatischer und Bodenverhältnisse genügende Feuchtigkeitsmengen zur Verfügung stehen, oder wo es sich darum handelt, die Auswaschung von Nitraten zu beschränken, ist die Stoppelsaat allen übrigen Verfahren vorzuziehen.

Behufs Erzielung einer möglichst durchgreifenden Wirkung wird besonders dafür Sorge zu tragen sein, die Gründüngungspflanzen zu einer möglichst üppigen Entwickelung zu bringen. Abgesehen von den im Boden enthaltenen Feuchtigkeitsmengen, kommt hierbei wesentlich der Nährstoffvorrath, die Saatmethode und die Auswahl der Pflanzen in Betracht. Eine Düngung erscheint nur in dem Falle geboten, wo die Pflanzen bereits im Frühjahr zum Anbau gelangen. Unter solchen Umständen wird dem Boden Thomasphosphatmehl und Kainit, auf kalkarmen Böden auch Kalk zugeführt werden müssen, um die schmetterlingsblüthigen Gewächse, deren Anbau hier die grössten Vortheile gewährt, zu kräftigem Wachsthum zu veranlassen. Bei der Unter- und Stoppelsaat soll dagegen in rationell betriebenen Wirthschaften eine Düngung nicht stattfinden, sondern die Hauptfrucht so reichlich mit den erforderlichen Nährstoffen versehen werden, dass die Gründüngungspflanzen davon genügende Mengen zu ihrer Entwickelung im Boden vorfinden. Hinsichtlich der Saatmethode ist vor Allem die Thatsache zu beachten, dass die seitens der Pflanzen producirten Mengen von organischer Substanz um so grösser sind, je zeitiger der Anbau erfolgte, und dass die Aussaat eines Gemenges verschiedener Arten, besonders von Flach- und Tiefwurzlern eine sicherere Gewähr für die Erzielung von grösseren Pflanzenmassen bietet als die Reinsaaten, d. h. der Anbau von nur einer Gründüngungspflanze.

Bei der Auswahl der Pflanzenarten für die Gründüngung wird man im Allgemeinen denjenigen einen Vorzug aus naheliegenden Gründen einräumen, welche den freien Stickstoff der Atmosphäre in gebundenen überzuführen vermögen, also den stickstoffsammelnden, zur Familie der Schmetterlingsblüthler gehörigen Gewächsen. Für leichte sandige Böden würden an erster Stelle die gelbe Lupine (Lupinus luteus), dann die Serradella (Ornithopus sativus), die spanische Platterbse (Lathyrus Clymenum),

---

[1]) *Schultz-Lupitz.* Zwischenfruchtbau auf leichtem Boden. Arbeiten der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft. Berlin. 1895.

die zottige Wicke (Vicia villosa), der Gelbklee (Medicago lupulina), der schwedische Klee (Trifolium hybridum), unter Umständen auch die Erbse (Pisum sativum) zu wählen sein; für Mittelböden (lehmiger Sand und sandiger Lehm) erscheinen geeignet: die blaue Lupine (L. angustifolius), die weisse Lupine (L. albus), die Erbse, die Wicke (Vicia sativa), die zottige Wicke, die Peluschke (Pisum arvense) und endlich würde für schwere Böden der Anbau der Wicke, der Ackerbohne (Faba vulgaris) und nach neueren Untersuchungen auch derjenige der zottigen Wicke, der Peluschke, des Gelbklees, des schwedischen Klees und des Bokharaklees in das Auge zu fassen sein. Sichere Anhaltspunkte werden aber für die jeweils gegebenen Verhältnisse erst durch Anstellung von Versuchen im Kleinen gewonnen werden können, von deren Ausführung um so weniger Abstand genommen werden sollte, als bei der Verschiedenheit der Wachsthumsverhältnisse in den einzelnen Wirthschaften die allgemeinen Regeln stets mancherlei Modificationen erfahren müssen, wenn der beabsichtigte Zweck in möglichster Vollkommenheit erreicht werden soll. Neben den Ansprüchen der einzelnen Species an Boden und Klima kommen überdies bei der Wahl der passenden Pflanzen die Saatmethode und auch die Dauer der Vegetationszeit mit in Betracht. So eignen sich z. B. von den angeführten Gewächsen nur wenige für die Untersaat; am besten die Serradella, demnächst die Kleearten, eventuell auch die gelbe Lupine. Bei den Stoppelsaaten ist der Zeitraum von der Aberntung der einen Frucht bis zu dem Anbau der folgenden maassgebend. Während die schmetterlingsblüthigen Gewächse allen Anforderungen entsprechen, wenn die Ernte, wie z. B. beim Wintergetreide, Raps u. s. w. zeitig stattfindet oder der Anbau der nächsten Frucht erst im folgenden Frühjahr stattfinden soll, erscheinen sie wegen ihres relativ langsamen Wachsthums für die Gründüngung weniger geeignet in solchen Fällen, wo die Aberntung des Feldes in einer späteren Jahreszeit stattfindet oder wo im Herbst die Saat einer Winterfrucht vorgenommen werden muss und die Brachezeit eine kurze ist (S. 347). Unter letzteren Verhältnissen bietet der Anbau solcher Gewächse, welche ein schnelleres Wachsthum aufweisen, wenngleich ihnen das Vermögen abgeht, „Stickstoff zu sammeln“, grössere Vortheile, als derjenige der schmetterlingsblüthigen Pflanzen, namentlich dann, wenn es sich darum handelt, in kürzeren Perioden die Auswaschung von Nitraten hintanzuhalten, d. h. die löslichen Stickstoffverbindungen des Bodens in schwerer lösliche, organische überzuführen (S. 349). Zu den Pflanzen, welche sich in letzterer Beziehung besonders nützlich erweisen, sind zu rechnen: der weisse Senf (Sinapis alba), der Rübsen (Brassica Rapa oleifera), der Oelrettig (Raphanus sativus oleiferus), der Spörgel (Spergula arvensis und S. maxima) und der Buchweizen (Fagopyrum esculentum).

Ueber die Menge grüner Masse und der wichtigsten Bestandteile in derselben geben die folgenden Zahlen [1]) Auskunft:

---

[1]) Nach den in den Tabellen von *E. Wolff* im landwirthschaftlichen Kalender von *Mentzel* und *Lengerke* aufgeführten Daten über die Zusammensetzung der Futtermittel berechnet.

Pflanze.	Grüne Masse pro ha M. Ctr. à 100 kg.	100 Theile enthalten im Mittel:			
		Wasser.	Organ. Substanz.	Stickstoff.	Asche.
Lupine, gelbe . . .	120—240	} 85,0	14,3	0,67	0,7
„ weisse . . .	150—300				
Wicke, Saat- . . .	160—240	82,0	16,2	0,56	1,8
„ zottige . . .	160—320	83,3	15,5	0,69	1,2
Erbse	120—240	81,5	17,0	0,51	1,5
Peluschke	120—240	83,2	15,6	0,56	1,2
Spanische Platterbse[1])	100—250	77,6	—	0,83	—
Ackerbohne	160—240	86,1	12,4	0,48	1,5
Serradella	120—300	81,0	17,2	0,59	1,8
Gelbklee	80—180	80,0	18,5	0,56	1,5
Schwedischer Klee . .	120—240	82,0	16,2	0,53	1,8
Bokharaklee	160—320	87,5	10,4	0,46	2,1
Weisser Senf . . .	120—240	82,7	15,9	0,34	1,4
Rübsen	160—200	85,9	12,8	0,45	1,3
Spörgel	60—140	80,0	18,0	0.37	2,0
Buchweizen	100—240	85,0	13,6	0,38	1,4

Diese Zahlen geben natürlich nur einen ungefähren Anhalt, zumal in der Tabelle nur die oberirdischen und nicht auch die gleichfalls wirksamen unterirdischen Organe der Pflanzen berücksichtigt werden konnten, und zwar wegen ungenügender Zahl einschlägiger Untersuchungen. Die angegebenen Erntemengen beziehen sich auf mittlere Fruchtbarkeitsverhältnisse; die oberen Grenzwerthe werden auf reichen und intensiv bewirthschafteten Böden nicht selten um ein Bedeutendes überschritten (um 50% und darüber), wie namentlich die Ergebnisse der Anbauversuche in Lupitz darthun.

Die Zersetzung der grün untergepflügten Pflanzen erfolgt im Allgemeinen ziemlich schnell, weil die Unterbringung in einem Entwickelungsstadium vorgenommen wird (Blüthezeit), in welchem die Gewächse verhältnissmässig noch wenig verholzt sind und im grünen vollsaftigen Zustande der Zerfall der organischen Substanzen an sich rasch von Statten geht. Selbstredend ist die Temperatur auch in diesem Falle für den Verlauf der bezüglichen Processe maassgebend. Ihre Wirkungen sind in der Regel insofern ungünstig, als die Gründüngungspflanzen erst meist spät in den Boden gebracht werden, so dass ihre Zersetzung während der kalten Jahreszeit vor sich gehen muss. Zur Beschleunigung der Zersetzung empfiehlt sich nach den Erfahrungen von *Schultz-Lupitz* eine schwache Beigabe von Stallmist zu dem unterzupflügenden Gründünger, falls der Boden im Frühjahr z. B. mit Kartoffeln bestellt wird. Diese Maassregel hat die Bedeutung, dass durch den Mist dem Boden reichliche Mengen von Mikroorganismen zugeführt werden, welche der Verwesung der grünen Pflanzenmassen Vorschub leisten.

Hinsichtlich der Frage, ob die Unterbringung der Gründüngungspflanzen im Herbst oder im folgenden Frühjahr vorgenommen werden soll, ist neuerdings vielfach die Anschauung ausgesprochen worden, dass es zweckmässig sei, diese Arbeit erst Ende des Winters auszuführen, falls dies wegen der nachfolgenden Frucht überhaupt statthaft ist, indem geltend gemacht wird, dass die Pflanzen unter dem Einfluss des Frostes eine mürbe Beschaffenheit erhielten, welche sie für die spätere

[1]) Nach *J. H. Vogel.* Vergl. *Schultz-Lupitz* a. a. O.

Unterbringung geeigneter mache, oder dass die Bedeckung die Gahre im Boden wesentlich fördere. Zieht man jedoch den Hauptzweck der Gründüngung, die Bereicherung des Bodens an humusbildenden Stoffen in Betracht, so wird man diesem Verfahren nicht das Wort reden können, denn während des Winters geht ein grosser Theil der organischen Substanzen in Folge von Zersetzung derselben verloren und tritt, wie mit Sicherheit angenommen werden kann, auch ein Stickstoffverlust in mehr oder minderem Grade ein, den hintanzuhalten doch alle Veranlassung vorliegt. Einen wesentlichen Nachtheil bietet überdies das in Rede stehende Verfahren aber noch dadurch, dass man auf die grossen Vortheile Verzicht leistet, welche einerseits die Stürze des Bodens im Herbst und andererseits das Durchfrierenlassen desselben während des Winters mit sich bringt (S. 342). Ausserdem wird, wie *N. von Thuemen*[1]) hervorhebt, auch bei dem Stehenlassen der Stoppel über Winter der Vermehrung schädlicher Insekten Vorschub geleistet, gegen welche gerade das Umackern des Bodens im Herbst ein gutes Bekämpfungsmittel bietet. Berücksichtigt man schliesslich, dass die Umwandlung des Stickstoffs der Gründüngungspflanzen in Salpeterstickstoff nach *P. P. Dehérain*[2]) bei der Unterbringung im Frühjahr erst Ende des Sommers, bei jener im Herbst dagegen schon im Frühjahr stattfindet, so wird nach alledem geschlossen werden müssen, dass nur bei dem Unterpflügen der Pflanzen im Spätherbst von der Gründüngung eine vollkommene Wirkung erwartet werden darf. Bezüglich der Beeinflussung der Bodengahre sind die Darlegungen S. 290 zu vergleichen.

Bei dem Unterpflügen der grünen Pflanzen wird namentlich in dem Falle, wo der Boden noch im Herbst mit einer Winterfrucht bestellt werden soll, auf eine stärkere Erdbedeckung des Gründüngers und auf einen festeren Schluss des Bodens Bedacht zu nehmen sein, damit die weiterhin sich entwickelnden Pflanzen nicht Mangel an Wasser leiden. Durch die untergebrachten Gründüngungspflanzen wird nämlich der capillare Aufstieg des Wassers aus den darunter liegenden Bodenschichten unterbrochen[3]), so dass bei dem Ausbleiben der atmosphärischen Niederschläge nach der Saat die oberen Partien des Erdreiches eine für die Keimung der ausgestreuten Samen nachtheilige Austrocknung erfahren können. Um dies zu verhindern, ist, besonders auf leichten Böden, für eine vollkommene und tiefere Unterbringung der Gründüngungspflanzen, sowie für ein Zusammenpressen des Bodens mittelst einer schweren Walze Sorge zu tragen. In dem in dieser Weise behandelten Erdreich zersetzen sich die Pflanzen nicht allein besser (S. 344), sondern wird auch die Leitung des Wassers gegen die Oberfläche gefördert und damit den geschilderten Nachtheilen für die keimende Saat besser vorgebeugt als bei lockerer Beschaffenheit des Erdreiches. Ausserdem wird es geboten erscheinen, das Ackerland nach dem Unterpflügen einige Zeit liegen zu lassen, ehe man dasselbe besäet. Auf schwereren Böden wird die grüne Pflanzenmasse, wie der Stalldünger, flacher unterzubringen sein, jedoch so, dass sie mit einer Erdschicht überdeckt ist (S. 354).

Bei üppig entwickelten Gründüngungspflanzen wird das Abmähen und das Einlegen derselben in die Pflugfurchen mit Handgeräthen meistentheils nicht umgangen

---

[1]) *N. von Thuemen.* Deutsche landwirthschaftliche Presse. 1895. Nr. 68. S. 616.

[2]) Annales agronomiques. T. XIX. 1893. p. 305.

[3]) Vergl. *F. H. King.* Tenth Annual Report of the Agricultural Experiment Station of Wisconsin. Madison. Wisc. 1884. S. 194.

werden können, um eine vollkommene Unterbringung zu bewirken. Nach *N. von Thuemen*[1]) soll dies aber auch, mit Umgehung des Abmähens, in folgender Weise sicher erreicht werden können. Das Feld wird rechtwinklig zur kommenden Pflugfurche mit einer schweren Glattwalze überfahren und an den Pflügen ein Radsech befestigt, welches bei der Fortbewegung in Rotation versetzt wird und die quer überliegenden Pflanzen glatt durchschneidet. Ein zweites vom genannten Autor empfohlenes Verfahren besteht darin, dass zwei eiserne Eggen hintereinander befestigt und in der Richtung der späteren Pflugfurchen über das Feld fortgeführt werden. Die Pflanzen werden dabei durch die vordere mit den Zinken nach oben gerichtete Egge an den Boden gedrückt, durch die zweite gewissermaassen glatt gekämmt und auf diese Weise für die Unterbringung vorbereitet.

7. Die Ernterückstände.

Die dem Ackerlande verbleibenden Ernterückstände (Wurzeln, Stoppeln und Blätter der Nutzpflanzen) sind insofern zu den organischen Düngemitteln zu rechnen, als durch dieselben eine effective Bereicherung des Bodens an organischen, humusbildenden Substanzen, und bei dem Anbau schmetterlingsblüthiger Früchte auch eine solche an stickstoffhaltigen Bestandtheilen herbeigeführt wird (S. 438). Von der düngenden Wirkung dieser Rückstände kann man sich leicht durch einen comparativen Versuch überzeugen, in welchem man einerseits die Erntereste dem Boden belässt, andererseits dieselben entfernt und alsdann eine Pflanze auf beiden Abtheilungen anbaut. Man wird dann finden, dass in ersterem Falle höhere Ernten erzielt werden als im letzteren, und bei grösserer Ausdehnung dieser Versuche noch weiters, dass die betreffenden Ertragsdifferenzen verschieden ausfallen, je nach den Pflanzen, von welchen die Ernterückstände abstammen. Letzteres kann nicht Wunder nehmen, wenn man berücksichtigt, dass die Entwickelung der unterirdischen Organe, welche hier hauptsächlich in Betracht kommen, bei den verschiedenen Species und je nach der Vegetationsdauer derselben eine sehr verschiedene ist. Ueber die bezüglichen Differenzen giebt ein von *H. Weiske*[2]) ausgeführter Versuch nähere Auskunft, dessen wichtigere Ergebnisse in folgender Tabelle zusammengestellt worden sind.

Pflanze.	Pro Hektar in kg.					
	Stoppel und Wurzel-rückstände.	Organische Substanz.	Stickstoff.	Mineralstoffe.	Kali.	Phosphorsäure.
Weizen	3988	2738	27,12	1250	21,2	13,6
Roggen	6038	4148	75,12	1890	36,0	29,2
Gerste	2284	1848	26,40	436	11,2	13,8
Hafer	4334	2678	30,72	1656	28,6	34,6
Buchweizen	2518	1984	54,96	534	10,6	12,6
Raps	5114	4400	69,84	714	54,2	36,8
Lupine	4054	3422	71,52	632	19,6	16,0
Erbse	3696	2926	65,04	770	13,0	17,2
Serradella	3590	2964	74,40	626	10,2	21,2
Wundklee	5740	4622	117,36	1118	29,8	27,6
Rothklee	10232	8030	220,08	2202	93,8	86,0
Luzerne	11088	9712	156,48	1376	42,2	45,2
Esparsette	6802	5628	141,60	1174	49,0	34,2

[1]) a. a. O.

[2]) *H. Weiske.* Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. Bd. XIV. 1871. S. 105.

Diese Pflanzenreste enthalten sonach ziemlich beträchtliche Mengen von organischen Substanzen und Stickstoff, und zwar sind dieselben bei den perennirenden Gewächsen ungleich grösser als bei den kurzlebigen (S. 188). Weitere Schlussfolgerungen aus diesen Zahlen ableiten zu wollen, würde insofern nicht statthaft sein, als die betreffenden Werthe je nach den localen Fruchtbarkeitsverhältnissen sicherlich grossen Schwankungen unterliegen.

Bei den mehrjährigen Futterpflanzen (Kleearten und Weidepflanzen) ist ein mehr oder weniger grosser Theil der Wurzeln zu der Zeit, wo der Boden umgebrochen wird, in Zersetzung übergegangen, wie aus dem Umstande geschlossen werden kann, dass alljährlich verschiedene Partien des Wurzelgeflechtes zu Grunde gehen. Dieselben unterliegen in der Regel nur einer langsamen Zersetzung und gehen in Humusbildungen über, welche sich innerhalb gewisser Grenzen ziemlich resistent verhalten, weil der Boden, welcher bei diesen Gewächsen nicht bearbeitet wird, sich nach und nach fester zusammenlagert und für die Luft in gleichem Grade undurchlässiger wird. Aus diesem Grunde erscheint es vortheilhaft, den Boden mit Aetzkalk zu düngen, um den Zerfall der bereits in Zersetzung übergegangenen Wurzelrückstände zu beschleunigen. In diesem Fall würden gleichzeitig die Nitrification des Stickstoffs und die Ueberführung der Mineralstoffe in den assimilirbaren Zustand eine Förderung erfahren, wodurch der Boden in einen besonders für die Entwickelung der Getreidearten günstigen Zustand versetzt wird.

Gleichergestalt wie durch die Stoppel- und Wurzelrückstände der Körnerfrüchte und Futtergewächse erfährt der Boden in dem angegebenen Sinne eine Bereicherung, wenn demselben die Blätter und Stengel der Knollen- und Wurzelfrüchte belassen werden. Der Umfang, in welchem in dieser Richtung die Fruchtbarkeit des Ackerlandes beeinflusst wird, lässt sich aus folgenden Zahlen (nach den Angaben von *E. Wolff* berechnet) ermessen:

Pflanze.	Blätter und Kraut kg pro ha.	Pro Hektar in kg.				
		Organische Substanz.	Stickstoff.	Mineral-stoffe.	Kali.	Phosphor-säure.
Kartoffel	4000— 8000	841,2—1682,4	19,6—39,2	78,8—157,6	17,2—34,4	6,4—12,8
Topinambur	4000—10000	742,0—1855,0	21,2—53,0	58,0—145,0	12,4—31,0	2,8— 7,0
Runkelrübe	6000—12000	482,4— 964,8	18,0—36,0	87,6—175,2	27,0—54,0	6,0—12,0
Mohrrübe	4000— 8000	616,4—1232,8	20,4—40,8	95,6—191,2	11,6—23,2	4,0— 8,0
Kohlrübe	4000—10000	385,6— 964,0	13,6—34,0	78,4—196,0	11,2—28,0	8,0—20,0
Wasserrübe	4000—10000	360,4— 901,0	12,0—30,0	47,6—119,0	11,2—28,0	3,6—9,0

Im Vergleich zu den oben angeführten Culturpflanzen liefern die Knollen- und Wurzelfrüchte eine geringere Menge von organischer Substanz, stickstoffhaltigen und mineralischen Stoffen. Nichtsdestoweniger ist die Wirkung der betreffenden Reste auf die Fruchtbarkeit des Bodens eine bessere, wenigstens eine schnellere, weil dieselben sich wegen ihres hohen Wassergehaltes rascher zersetzen als die ausgetrockneten der Körnerfrüchte und theilweise auch der Futtergewächse.

IV. Die Beeinflussung der Zersetzungsprocesse bei der Conservirung der Futtermittel.

Fast sämmtliche in der Wirthschaft und in den Nebengewerben gewonnenen Futtermittel besitzen einen so hohen Wassergehalt, dass sie sich in diesem Zustande, weil dem Verderben (Fäulniss) ausgesetzt, ohne Weiteres nicht aufbewahren lassen würden. Es bedarf daher, um letzteres zu ermöglichen, gewisser Maassnahmen, welche geeignet sind, die Beschaffenheit der betreffenden Materialien in einer solchen Weise abzuändern, dass sie sich für längere Zeit den auf ihre Zerstörung hinwirkenden äusseren Einflüssen gegenüber resistent verhalten können. Hierbei ist natürlich gleichzeitig auf möglichste Erhaltung der für die thierische Ernährung besonders wichtigen Stoffe Bedacht zu nehmen.

Die Methoden, welche bei der Conservirung der Futtermittel in der Praxis in Anwendung gebracht werden, bezwecken entweder die Entfernung des überschüssigen Wassers und die Ueberführung derselben in den lufttrockenen Zustand (Trockenfutter) oder die Anregung von Gährungserscheinungen in der wasserhaltigen Masse, welche die Bildung von Stoffen mit zersetzungswidrigen, keimtödtenden Eigenschaften zur Folge haben (Gährfutter).

Die Trocknung der grünen Futtergewächse wird dadurch herbeigeführt, dass man dieselben mit möglichst grosser Oberfläche der Luft und der Sonne aussetzt, und sie thunlichst vor der Wiederanfeuchtung durch Thau bezw. Regen schützt. Unter günstigen Witterungsverhältnissen wird hierbei ein Futter (Dürr- oder Grünheu) gewonnen, welches fast unverändert alle Bestandtheile enthält, welche ursprünglich in den Pflanzen enthalten waren. Nur bei den blattreichen Kleearten treten Verluste durch Abfallen der werthvollen Blätter bei dem öfteren Wenden ein, doch können dieselben bei diesen Gewächsen bei der Trocknung in Puppen und, was noch zweckmässiger ist, auf Gerüsten fast vollständig beseitigt werden. Während sonach dieses Verfahren unter den bezeichneten Verhältnissen allen zu stellenden Anforderungen entspricht und deshalb als das zweckmässigste bezeichnet werden kann, ist dasselbe bei feuchter und nasser Witterung mit den mannigfachsten Nachtheilen verknüpft, welche darin bestehen, dass die Werbung von lufttrockenem Heu auf diesem Wege überhaupt nicht oder doch nur mit den grössten Schwierigkeiten gelingt, dass unter dem Einfluss des Regens eine mehr oder weniger weitgehende Auswaschung werthvoller Stoffe stattfindet oder in extremen Fällen die ganze Masse dem Verderben ausgesetzt ist.

Die zuletzt angeführten schwerwiegenden Uebelstände haben hauptsächlich Veranlassung zur Ausfindigmachung solcher Conservirungsmethoden gegeben, welche die Möglichkeit bieten, die Futtermaterialien dem Einfluss der atmosphärischen Niederschläge ganz oder theilweise zu entziehen. Naheliegend war es, zur Beschleunigung des Trocknungsprozesses die Wärme zu benutzen, welche sich in den in grösseren Haufen zusammengebrachten Futtermassen erfahrungsmässig entwickelt. Auf diese Weise entstanden die Brennheu- und die Braunheubereitung. Bei dem ersteren, von *T. J. Klapmeyer*[1]) erfundenen Verfahren, werden die thau- und regenfreien Grünfutterpflanzen unter festem Zusammentreten der einzelnen Schichten in

[1]) *T. J. Klapmeyer.* Vom Kleebau und Verbindung desselben mit dem Getreidebau. Mietau. 1794.

Haufen von mässiger Grösse gebracht und in diesem so lange belassen bis in Folge der Selbsterhitzung die Temperatur auf 60—70° C. gestiegen ist, worauf die Masse in einer dicken Lage auseinander gebreitet, nach der Abkühlung gewendet und wenn sie danach noch nicht trocken sein sollte, nochmals in derselben Weise behandelt wird. Das Heu nimmt hierbei eine bräunliche Farbe an. Trotzdem das Product einen recht günstigen Futterwerth aufweist, wie die diesbezüglichen Untersuchungen von *H. Weiske* nachgewiesen haben, hat die *Klapmeyer*'sche Methode keinen Eingang in die Praxis gefunden und zwar, weil bei dem Eintritt ungünstiger Witterungsverhältnisse die Trocknung der Pflanzen Schwierigkeiten bereitet und der Arbeitsaufwand immerhin noch ein beträchtlicher ist. Ungleich zweckmässiger ist die in vielen Ländern mit feuchtem Klima (Gebirgs-, Küsten- und Inselklima) gebräuchliche Braunheubereitung, bei welcher die gerügten Uebelstände vermieden werden. Bei diesem Verfahren werden aus den überwelkten Grünfuttermassen Haufen von grösserem Umfange geformt, wobei die einzelnen Schichten gleichergestalt wie bei der Herstellung des Brennheues fest zusammengetreten werden. Nachdem behufs Abhaltung des Regens der Haufen am First mit einer genügend starken Strohschicht abgedeckt worden ist, wird derselbe sich selbst überlassen. In Folge der im Innern eintretenden starken Erwärmung wird das sämmtliche Vegetationswasser aus der Futtermasse entfernt, so dass letztere nach Beendigung des Processes sich im vollständig lufttrockenen Zustand befindet. Sie hat dabei eine braune Farbe und einen eigenthümlichen honigartigen Geruch angenommen.

In dem Betracht, dass das Gelingen der Braunheubereitung von dem Grade der Wärmeentwickelung in dem Haufen wesentlich abhängig ist, dürfte es zweckmässig sein, zunächst der Frage über die Ursachen der Selbsterhitzung der Futtermassen näher zu treten. Bekanntlich findet in dem pflanzlichen wie im thierischen Organismus ein Athmungsprocess statt, bei welchem Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure abgeschieden wird. Dieser Vorgang wird unter dem Einfluss des Lichtes bei den Pflanzen durch die gleichzeitige Aufnahme von Kohlensäure und Ausscheidung von Sauerstoff (Assimilationsprocess) verdeckt. Im Dunkeln dagegen, also auch in den in den Haufen zusammengebrachten, zunächst noch lebenden Pflanzen, tritt die normale Athmung in vollem Umfange in die Erscheinung. Die Oxydation des Kohlenstoffs, welche hierbei vor sich geht, ist nothwendigerweise mit einer Wärmeentwickelung verbunden und diese ist es, welche vorerst zu einer Temperatursteigerung in den zusammengehäuften Pflanzenmassen Veranlassung giebt, denn die Transpiration, welche bei der freistehenden Pflanze die Erwärmung derselben hindert, ist hier in einem ausserordentlichen Grade vermindert. Sobald aber die in dem Haufen enthaltene Sauerstoffmenge in Folge der normalen Athmung bedeutend reducirt oder vollständig verbraucht ist, tritt an die Stelle derselben ein gleichfalls mit der Entbindung von Kohlensäure verbundener Oxydationsvorgang, welchen man mit intramolekularer Athmung bezeichnet hat. Derselbe findet so lange statt, als die Pflanzenzellen noch lebensfähig sind, und geht in der bereits höher temperirten Masse sehr energisch vor sich, weil die Optimaltemperatur für diesen Process bei ca. 40° C. also höher gelegen ist als jene für die normale Athmung (25—30° C.). Bemerkenswerth ist die Thatsache, dass unter den Producten des zuletzt erwähnten Processes auch Alkohol auftritt. Die durch die intramolekulare Athmung hervorgerufenen Wirkungen dürften jedoch nicht von langer Dauer sein, weil mit der

immer höher steigenden Temperatur die Lebensthätigkeit der Zellen zerstört wird, und zwar findet dies bei ca. 50° C., wenn nicht schon früher, statt. In dem Grade die Pflanzen absterben, wird die Vermehrung und Thätigkeit zahlreicher Mikroorganismen, welche schon bei der Aufrichtung der Haufen in der Masse vorhanden waren, gefördert und dadurch Veranlassung zu einer Reihe grösstentheils noch unbekannter chemischer Processe gegeben, durch welche verschiedene organische, sowohl stickstoffhaltige als auch stickstofffreie Stoffe in einfachere Verbindungen übergeführt und hierbei gewisse Wärmemengen entwickelt werden. Mit dem Auftreten solcher Gährungsproducte, welche, wie die Säuren, der Thätigkeit und Vermehrung der niederen Organismen, besonders der Spaltpilse, hinderlich sind (S. 96) resp. mit der Abnahme an chemischen Spannkräften in den aufgehäuften Pflanzensubstanzen, erfährt schliesslich die Intensität der Gährungsvorgänge eine stetige Verminderung bis zum vollständigen Aufhören derselben.

Aus vorstehender Darlegung folgt, dass die Temperatur in den in Haufen vereinigten Pflanzenmassen zunächst eine Zunahme bis zu einer gewissen Grenze erfährt, dann aber eine Abnahme, bis zuletzt eine Ausgleichung der Temperatur im Haufen mit jener der Aussenluft eintritt. Der Grad und die Dauer der bezüglichen Wärmewirkung ist von verschiedenen Umständen, vornehmlich von der Menge und der Beschaffenheit der zusammengehäuften Pflanzen, dem Luftzutritt, sowie von den Vorkehrungen abhängig, welche zur Erhaltung der entwickelten Wärmemengen in dem Haufen getroffen worden sind.

Im Allgemeinen ist unter übrigens gleichen Verhältnissen die Temperatursteigerung um so höher, je grösser die Pflanzenmengen sind, die in einem Haufen vereinigt werden und umgekehrt. Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass die Wirkung der äusseren kalten Luft auf die Pflanzenmasse sich in dem Grade verringert, als dieselbe ein grösseres Volumen einnimmt.

Die Wärmeentwickelung wird weiters um so intensiver sein, je grösser die Lebensthätigkeit der einzelnen Zellen ist, d. h. je frischer und saftiger die Pflanzen sind, denn in dem gleichen Maasse wird die Athmung derselben energischer verlaufen und ein grösserer Vorrath von chemischen Spannkräften vorhanden sein. Aus diesem Grunde wird nur ein geringer Grad von Erwärmung erreicht, wenn die Pflanzen bereits viel Wasser verloren hatten oder durch wiederholte Regen stark ausgelaugt waren. Dasselbe ist aber auch der Fall, wenn die Pflanzen mit Thau oder Regenwasser behaftet in den Haufen eingebracht werden, weil dann die Athmungsöffnungen mehrentheils durch das anhaftende Wasser verdeckt und die Athmungsvorgänge deshalb beschränkt sind. Die unter solchen Verhältnissen entwickelte Wärmemenge ist für die Verdunstung des überschüssigen Wassers unzureichend, die Masse verharrt in einem mehr oder weniger nassen Zustande und unterliegt bei mangelndem Luftzutritt der Fäulniss, bei ergiebigerem Zutritt des Sauerstoffs der Verwesung, verbunden mit dem Auftreten zahlreicher Schimmelbildungen.

Im Uebrigen ist die Erwärmung um so stärker, je lockerer unter sonst gleichen Verhältnissen die Futtermassen gelagert sind, weil in demselben Verhältniss der Zutritt des Sauerstoffs erleichtert ist. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die vollsaftigen Pflanzen, wenn sie unter dem Einfluss höherer Wärmegrade abgestorben sind, bei lockerer Lagerung weiterhin der Verwesung anheimfallen, den gleichzeitig zahlreich auftretenden Schimmelpilzen einen günstigen Nährboden

darbieten und demnach dem Verderben ausgesetzt sind. Die Temperaturerhöhung in dem Haufen wird schliesslich davon abhängig sein, inwieweit derselbe gegen Abkühlung geschützt ist. Unter gleichen Verhältnissen wird die in einem geschlossenen Raum untergebrachte Pflanzenmasse sich stärker erwärmen als die im Freien aufgehäufte.

Aus den vorstehenden Darlegungen über die Ursachen der Selbsterhitzung in grösseren Haufen zusammengebrachter Grünfuttermassen ergeben sich einige Anhaltspunkte für die zweckmässigste Behandlung des Braunheues. Im Uebrigen sind unsere Kenntnisse über die näheren Vorgänge bei der Erwärmung noch sehr lückenhaft, weil es an systematischen Untersuchungen zur Zeit noch vollständig mangelt. Vor Allem wäre es nöthig, bei einem und demselben Material den Einfluss, den die Masse, der Wassergehalt derselben und die Dichte der Lagerung an sich und in den möglichen Complicationen in bezeichneter Richtung, sowie auf die chemischen Eigenschaften des Productes ausüben, festzustellen. In letzterer Beziehung könnten praktisch verwerthbare Daten auch nur durch Bestimmung der absoluten Menge von den etwa verloren gehenden Bestandtheilen gewonnen werden. Schablonenmässig ausgeführte Analysen von Heusorten, welche unter verschiedenen, grösstentheils nicht näher bekannten Bedingungen hergestellt wurden, sind selbstredend nicht ausreichend, den gerügten Mangel zu beheben[1]).

Nach den zur Zeit vorliegenden Erfahrungen gelingt die Braunheubereitung nur in dem Falle, wo die Futterpflanzen, ehe sie in den Haufen gebracht werden, in einen angewelkten Zustand versetzt, in grösseren Massen aufgehäuft und in den einzelnen Schichten fest zusammen getreten werden. Im frischen Zustande scheint die Erwärmung eine zu starke und die Gährung eine zu intensive zu sein, ein Uebelstand, welchem muthmaasslich durch festeres Zusammenpressen, als dies unter den Füssen der Arbeiter möglich ist, begegnet werden könnte. In keinem Fall dürfte die Temperatur sich in der Masse unter letzteren Umständen in der Weise steigern, dass eine Selbstentzündung des Heues zu befürchten wäre, weil die vorhandenen Wassermengen so gross sind, dass die entwickelte Wärme gerade ausreicht, um dieselben zu entfernen. Eine Selbstentzündung des Heues ist, soweit hierüber zuverlässige Berichte vorliegen, nur bei der Anhäufung mässig feuchter, beinahe lufttrockener Pflanzenmassen (Dürrheu) bei relativ lockerer Lagerung beobachtet worden. In welcher Weise aber die hierzu nothwendigen hohen Temperaturen zu Stande kommen, ist zur Zeit noch nicht aufgeklärt. Zwar haben die Untersuchungen von *H. Ranke*[2]) dargethan, dass bei dem Erwärmen von Heu auf 280—320° die Zersetzung desselben bis zur Bildung einer pyrophorischen, d. h. an der Luft entzündlichen Kohle fortschreitet, aber es ist ganz unbekannt, welche Processe eine derartige Temperatursteigerung hervorrufen sollten. Jedenfalls ist letztere nicht auf Gährungsvorgänge zurückzuführen, weil diese bereits bei sehr viel niedriger gelegenen Temperaturen unterbrochen werden. Es bleibt daher nur die Annahme von dem Vorhandensein rein chemisch-physikalischer Vorgänge unter den obwaltenden Umständen übrig, womit aber zur Aufklärung des eigenthümlichen in Rede stehenden Vorganges nicht viel gewonnen ist. Dass andererseits bei einem übermässigen Wasser-

[1]) *F. Falke.* Die Braunheubereitung. Arbeiten der deutschen Landwirthschaftsgesellschaft. Heft 9. Berlin. 1895.

[2]) *H. Ranke.* Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. Bd. XVI. 1873. S. 347.

gehalt, wie solcher bei mit Thau und Regen behafteten Pflanzen vorhanden ist, kein normales Braunheu gewonnen werden kann, sondern die Pflanzen meistentheils dem Verderben ausgesetzt sind, wurde bereits oben angeführt. Es bleibt mithin nichts anderes übrig, als nach den praktischen Erfahrungen an der Regel festzuhalten, dass die Futtergewächse bei der Braunheubereitung im angewelkten Zustand zu verwenden seien. Zur Ueberführung der Pflanzen in letzteren genügt es, wenn die Schwaden auseinandergestreut, nach dem Abwelken der oberen Schichten gewendet und so lange der Luft ausgesetzt werden, bis auch die nach oben gebrachten Partien angewelkt sind. In einigen Gegenden werden die gewelkten Pflanzen noch in kleine Windhaufen gebracht, in welchen sie 1—2 Tage liegen bleiben, ehe sie zu Braunheu verarbeitet werden. Der Umstand, dass man gezwungen ist, die Pflanzen vor der Conservirung der Luft auszusetzen, gereicht der Braunheubereitung insofern zum Nachtheil, als bei dem Eintritt ungünstiger Witterung die Arbeit unterbrochen wird. Immerhin wird es in einem feuchten Klima oder in regenreichen Perioden leichter sein, die Futterpflanzen in den für die Braunheugewinnung erforderlichen Zustand zu versetzen, als dieselben zu Dürrheu zu verarbeiten.

Hinsichtlich der Futtermengen, welche in einem Haufen vereinigt werden, sind die zweckmässigsten Dimensionen desselben auf Grund der praktischen Erfahrungen in Betracht zu ziehen. Nach diesen dürfte es räthlich erscheinen, den Durchmesser der im Querschnitt kreisförmigen Schober zu 4—6 m, die Höhe zwischen 4—7 m zu bemessen. Die Unterbringung des zur Braunheubereitung bestimmten Heues in geschlossenen Räumen ist nicht empfehlenswerth, weil das Wasser am Abdunsten gehindert ist, sich auf dem Heu niederschlägt und zu leicht zu Fäulnisserscheinungen Veranlassung giebt, ausserdem aber auch eine sehr starke Erhitzung wegen des durch die Wände des Gebäudes bewirkten Abschlusses eintreten kann.

Schliesslich ist bei dem Aufbau des Haufens ganz besonders dafür Sorge zu tragen, dass die einzelnen Schichten möglichst fest zusammengetreten werden. Zur Sicherung gegen die schädigenden Einflüsse des condensirten Wassers einerseits und des Regens andererseits wird die Anbringung einer starken Strohdecke auf den oberen Partien der Schober sich als unbedingt erforderlich erweisen. Hierbei darf jedoch die Befestigung dieser Decke nicht durch Eintreiben von Pfählen bewirkt werden, da diese dem Regenwasser einen Weg in die Futtermasse bahnen würden, vielmehr wird es sich empfehlen, zu diesem Zweck starke, durch Steine beschwerte Drähte anzubringen.

In der Regel dauert die Erwärmung und die Gährung in der Pflanzenmasse je nach äusseren Umständen 3—5 Wochen. Die Abkühlung derselben geht nur langsam vor sich und ist erst in 10—12 Wochen beendet. Je nach dem Grade der Erhitzung und dem Material besitzt das Heu eine hellbraune bis schwarze Farbe. Unter sonst gleichen Verhältnissen pflegen die sich fester zusammenlagernden Pflanzen (z. B. Gras) dunkler gefärbt zu sein als die grobstengeligen (Klee).

Der Vollständigkeit wegen sei hier noch eines Verfahrens Erwähnung geschehen, welches ein bezüglich seiner Eigenschaften zwischen dem Dürrheu und Braunheu stehendes Product liefert und in Schleswig-Holstein in Gebrauch ist. Dasselbe ist, wie *F. Falke*[1]) berichtet, dadurch ausgezeichnet, dass statt jener grossen Haufen

[1]) a. a. O. S. 17.

solche von mässigem Umfange errichtet (Schweissdiemen) und die Pflanzen im noch nicht vollständig trockenen Zustande eingesetzt werden. „Nachdem das Heu durch Trocknen in den Schwaden, welche bei günstigen Witterungsverhältnissen nur einmal gewendet zu werden brauchen, 1—3 Tage abgewelkt ist, wird es in kleine Haufen gesetzt, welche dann nach weiteren 2—3 Tagen in grosse, etwa 1—1½ Fuder enthaltende Diemen zusammengefahren werden. Die Gestalt dieser Diemen ist rund und kegelförmig.“ Bei der Bergung des zweiten Schnittes werden die Schweissdiemen etwas grösser angelegt, so dass sie etwa 4—5 kleine Fuder fassen.

Wegen der bereits weit vorgeschrittenen Trocknung des Heues kann die Selbsterhitzung desselben nur in geringem Grade eintreten. Der mässige Umfang der Haufen ermöglicht aber eine leichte Durchlüftung und eine schnellere Abkühlung als bei solchen von grösseren Dimensionen. Das gewonnene Product kann in den meisten Fällen, streng genommen, nicht als Braunheu bezeichnet werden. Es nimmt die Beschaffenheit des letzteren nur dann an, wenn die Pflanzen bei dem Einsetzen einen gewissen höheren Wassergehalt besassen oder eine solche Beschaffenheit, dass sie sich fester zusammenlagern können. Letzteres ist der Fall bei dem zweiten Schnitt, weil die Pflanzen nur schwer abwelken und wegen grösseren Blattreichthums im Vergleich zu jenen des ersten Schnittes sich dichter zusammensetzen.

Der Umstand, dass bei der Braunheubereitung ein vorgängiges Anwelken der Pflanzen sich als nothwendig erweist und deshalb dieselbe nicht immer regelrecht durchführbar ist, hat Veranlassung zur Auffindung solcher Methoden gegeben, welche es ermöglichen, die Futtermassen im frischen Zustande zu conserviren und dieselben dadurch vollständig dem Einfluss der jeweiligen Witterungsverhältnisse zu entziehen. Eine diesen Anforderungen entsprechende Methode ist die der Sauerheubereitung, welche in der Weise zur Ausführung gebracht wird, dass man die frisch gemähten Pflanzen in grundwasserfreie Gruben verbringt, in welchen sie schichtenweise fest zusammengetreten werden, und dass man alsdann, nachdem die Füllung bewirkt ist, die Masse mit einer starken Erdschicht überdeckt, in welcher alle entstehenden Risse sorgfältig beseitigt werden.

In der auf diese Weise behandelten Pflanzenmasse tritt zwar unter Entbindung von Kohlensäure in der Folge eine Erwärmung ein, dieselbe erreicht aber wegen des vollkommenen Luftabschlusses niemals, auch nur annähernd die Höhe wie in einem Braunheuhaufen, weshalb auch der Wasserverlust ein vergleichsweise geringerer ist. Dagegen machen sich sehr bald unter Mithilfe niederer Organismen Gährungserscheinungen bemerklich, welche hauptsächlich die Bildnng von Milchsäure und flüchtigen Fettsäuren (Essig-, Butter-, Valerian-, Propion-, Capronsäure u. s. w.) zur Folge haben. Aus diesem Grunde nimmt das Product eine sauere Beschaffenheit und einen scharfen Geruch an, der für das Sauerheu charakteristisch ist. Dasselbe ist durch das Auftreten einer gewissen Säuremenge, welche die Vermehrung der fäulnisserregenden Spaltpilze hindert, in einen Zustand versetzt, in welchem es bei Luftabschluss sich für längere Zeit conserviren lässt.

Die Herstellung von Sauerfutter bezeichneter Beschaffenheit gelingt nur dann, wenn die Pflanzen möglichst dicht zusammengetreten und vor dem Zutritt der atmosphärischen Luft und des Grund-, sowie des Regenwassers sorgfältigst geschützt werden. Entgegengesetzten Falls wären die aufgespeicherten Futtermaterialien dem sicheren Verderben ausgesetzt. Bei mehr oder weniger ungehindertem Zutritt von

freiem Sauerstoff gewinnen die Essigsäure- und Schimmelpilze die Oberhand, während die Milchsäuregährung zurückgedrängt wird. Unter noch nicht näher festgestellten Bedingungen findet auch wohl unter solchen Umständen eine starke Ammoniakgährung statt, derart, dass die Pflanzenmasse eine alkalische Reaction und nunmehr eine für die Vermehrung zahlreicher fäulnisserregender Spaltpilze günstige Beschaffenheit annimmt. Bei der Zufuhr grösserer Wassermengen, welche die Hohlräume zwischen den Pflanzen erfüllen und einen vollständigen Luftabschluss herbeiführen, treten von vornherein Fäulnissprocesse in die Erscheinung und führen gleichergestalt wie im vorigen Fall zu einem Verderben der Futtermaterialien.

Unter Berücksichtigung der geschilderten Verhältnisse ergeben sich die Gesichtspunkte, welche bei der Herstellung normalen Sauerfutters besonders zu beachten sind[1]). Das Einmachen der Pflanzen in Behältern, welche vollständig wasserdicht sind, ist demjenigen in Erdgruben entschieden vorzuziehen. In letzteren lässt sich der erforderliche wasser- und luftdichte Abschluss selbstredend weniger sicher herbeiführen und gehen durch Absickerung der ausgepressten Flüssigkeit leicht grössere Mengen von Nährstoffen verloren, während diese Uebelstände im ersteren Fall völlig vermieden werden. Am besten eignen sich aus Backsteinen hergestellte und durch Cement verputzte Gruben, welche behufs Hintanhaltung einer stärkeren Temperaturerhöhung in den gährenden Futtermitteln möglichst schmal (2—2,5 m), aber tief (2,5—3 m) und lang angelegt werden müssen. Die Wandungen erhalten eine ganz schwache Böschung, damit sich die Futtermasse bei dem Setzen eng an dieselben anlegt. Bei der Beschickung der Behälter werden die conservirenden Materialien schichtenweise eingeführt und die einzelnen Schichten fest zusammengetreten, eventuell ausserdem mit auf Brettern gelegten Steinen belastet. Die Oberfläche der in dieser Weise behandelten Futtermasse darf mit dem Rande des Behälters nicht in ein Niveau gebracht werden, weil sonst die weiterhin aufzubringende Erddecke bei dem Sichsetzen derselben eine Senkung in der Mitte erleiden und in dieser für die Futtermaterialien eine verderbenbringende Ansammlung von Wasser stattfinden würde. Um derartigen Uebelständen zu begegnen, erscheint es angezeigt, der Oberfläche der Futtermasse eine starke Wölbung zu geben, wodurch gleichzeitig auch der Entstehung von Rissen in der aufliegenden Erdschicht insofern vorgebeugt wird, als letztere bei der allmählich stattfindenden Volumverminderung sich dichter zusammenlagert. Im Uebrigen sind alle in der Erde entstehenden Risse sofort auszufüllen und zuzustampfen. Die Erdschicht, mit welcher die ganze Futtermasse schliesslich überdeckt wird, muss eine Mächtigkeit von ca. 60—80 cm, bei sandigem Boden eine solche von 1 m erhalten. Die Aufbringung der Erde muss in mässigen festgestampften Schichten vorgenommen werden.

Die Benutzung von Stroh zum Auskleiden der Grubenwände und zum Ueberdecken der Futtermasse, ein Verfahren, welches besonders bei dem Einmachen in nackten Erdgruben häufig üblich ist, hat unter allen Umständen zu unterbleiben, weil die in dem Stroh eingeschlossene Luft stets in den benachbarten Partien des Heues zu Essigsäure- und Schimmelbildungen Veranlassung giebt.

---

[1]) *J. Kühn.* Das Einsäuern (Einmachen) der Futtermittel. *Mentzel* und *v. Lengerke*'s landwirthschaftlicher Kalender. Berlin. 1888. S. 31. — *E. Pott.* Die landwirthschaftlichen Futtermittel. Berlin. 1889. S. 96.

Gewisse Futtermaterialien, wie Mais, Rüben, Kartoffeln, bedürfen, damit dieselben die erforderliche dichte Lagerung in der Sauergrube erhalten, vor der Einbringung einer Zerkleinerung. Kartoffeln werden ausserdem häufig zuvor gedämpft, was sich als unbedingt empfehlenswerth erweist, wenn dieselben gefroren oder gefault sind.

Der Säuerungsprocess nimmt etwa 6—8 Wochen in Anspruch. Nach Ablauf dieser Frist kann die Grube geöffnet und deren Inhalt verwendet werden. Hierbei ist die Vorsicht zu gebrauchen, die Entnahme des Futters durch senkrechtes Abstechen des von Tag zu Tag erforderlichen Quantums zu bewirken und die blossgelegte Futterfläche mit Strohmatten, Brettern und dergl. zu bekleiden und zwar zu dem Zweck, um den Zutritt der Luft möglichst hintanzuhalten. Bei grösserem und regelmässigem Sauerfutterverbrauch ist es räthlich, die Gruben nur so gross anzulegen, dass deren Inhalt in wenigen Tagen verfüttert werden kann. Man ist dann davor sicher gestellt, dass ein Theil des Sauerfutters nachträglich durch Anschimmeln verdirbt.

Von der Annahme ausgehend, dass die die Gährung speciell in dem Sauerfutter hervorrufenden niederen Organismen bei höheren Temperaturen getödtet würden, glaubte man neuerdings das Futter unter Ausschluss von Gährungsvorgängen dadurch conserviren zu können, dass man dasselbe in oberirdisch angelegten Haufen zunächst der Selbsterhitzung überliess und, nachdem die höhere Temperatur einige Zeit eingewirkt hatte, mittelst gewisser mechanischer Hilfsmittel fest zusammenpresste, um den Luftzutritt möglichst vollständig zu beseitigen[1]). Die Voraussetzung, dass man mit Hilfe dieser Operation ein säurefreies, sogen. „süsses“ Futter (sweet ensilage) erzielen könne, in welchem die Bestandtheile nur geringe Veränderungen erlitten hätten, hat sich indessen als irrthümlich erwiesen. Gleichwohl ist man auf diesem Wege zu einem Verfahren gelangt, welches, sachgemäss ausgeführt, die Gewinnung eines Futters ermöglicht, dessen Bereitung unter Umständen grössere Vortheile bietet als diejenige der bisher besprochenen Futterarten.

In welcher Weise die an den Gährungsvorgängen in angehäuften frischen Pflanzenmassen betheiligten niederen Organismen bei dem in Rede stehenden, als Grünpressfutterbereitung zu bezeichnenden Verfahren beeinflusst werden, wird, ehe an die Beschreibung der Details bei der Ausführung desselben herangetreten wird, vorerst einer Untersuchung bedürfen, wobei indessen nicht unerwähnt gelassen werden kann, dass über verschiedene wichtige Punkte unsere Kenntnisse noch ausserordentlich lückenhaft sind.

Die Milchsäuregährung wird, wie bereits an einer anderen Stelle nachgewiesen wurde (S. 29), durch verschiedene Organismen hervorgerufen, welche sich sowohl in Bezug auf die Lebens- und Ernährungsverhältnisse, als auch hinsichtlich der von ihnen erzeugten Producte nicht unwesentlich von einander unterscheiden; jedoch kann angenommen werden, dass das von *Hueppe* beschriebene Milchsäureferment, Bacillus acidi lactici, das verbreitetste und daher an dem in Rede stehenden Gährungsvorgang wohl am meisten betheiligt ist. Dasselbe ist facultativ anaërob und wenig empfindlich gegen die Abwesenheit von Sauerstoff. Hinsichtlich des Einflusses der Temperatur wurde gefunden, dass der Bacillus sich unter 10° C. nicht vermehrt,

[1]) *A. Goffart.* Manuel de la Culture et de l'Ensilage des Mais et autres Fourages verts. Paris. 1877. — *G. Fry.* The Theory and Practice of Sweet Ensilage. London. 1885.

bei 30—45° C. am besten entwickelt und höhere Temperaturen bis zu 60° und darüber verträgt, ohne zu Grunde zu gehen. Bei der Mehrzahl derjenigen Organismen, welche zur Bildung von flüchtigen Fettsäuren Veranlassung geben, liegen die betreffenden Temperaturgrenzen niedriger. So gedeiht der aërobe Essigsäurepilz zwischen 18 und 35° C. am üppigsten, der anaërobe Buttersäurepilz zwischen 35—40° C., während die Tödtungstemperatur für ersteren bei 50° C., für letzteren bei etwa 60° C. oder doch wenig darüber gelegen ist. Aehnlich mögen sich auch die übrigen Fettsäuren erzeugenden niederen Organismen verhalten.

Diese Thatsachen lassen ermessen, welche Maassnahmen in Anwendung zu bringen sind, um in den angehäuften Futtermaterialien die Entwickelung der Bacillen, an deren Thätigkeit die Bildung von Fettsäuren geknüpft ist, hintanzuhalten, und die Bedingungen für eine möglichst reine Milchsäuregährung herzustellen. Offenbar muss dies gelingen, wenn man zunächst die locker angehäuften grünen Futtermassen der Selbsterhitzung überlässt. Bei der höheren Temperatur werden die Fettsäurepilze getödtet werden, während das Milchsäureferment erhalten bleibt. Wird nun, nachdem die Erwärmung in dieser Weise einige Zeit gewirkt hat, die Masse fest zusammengepresst, so muss nothwendigerweise die Temperatur sinken, weil nunmehr der Zutritt des Sauerstoffs der Luft wesentlich beschränkt ist, aber diese Abnahme der Temperatur wird nicht plötzlich, sondern wegen der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit der Futtermaterialien nur langsam erfolgen, je nach dem Druck, welcher angewendet wurde, um der Masse eine dichtere Lagerung zu ertheilen. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, dass man die Temperatur einige Zeit lang auf einer Höhe erhält, welche der Entwickelung des Milchsäurefermentes am günstigsten ist. In der gepressten Futtermasse muss sich demnach eine gewisse Menge von Milchsäure bilden, jedoch nicht über ein bestimmtes Maass hinaus, weil schliesslich ein Punkt eintritt, bei welchem die Vermehrung der Bacillen in Folge des Anwachsens der für dieselben giftig wirkenden Milchsäure aufhört. Dafür, dass auch neben der Milchsäuregährung unter den bezeichneten Verhältnissen immer noch einige Fettsäurebacillen wirksam sind, spricht der Umstand, dass das hergestellte Pressfutter ausser Milchsäure stets noch einen gewissen Gehalt an flüchtigen Fettsäuren aufweist, der aber im Vergleich zu demjenigen des Sauerfutters sehr gering ist. Die betreffenden Unterschiede werden aus folgenden, von *G. Fry* mitgetheilten Zahlen bezüglich der Zusammensetzung zweier aus Incarnatklee hergestellten Gährfutterarten ersichtlich:

In der Trockensubstanz enthalten:	Pressfutter.	Sauerfutter.
Freie flüchtige Säuren (als Essigsäure berechnet):	0,30—0,34 %	1,704 %
Nicht flüchtige freie Säure (Milchsäure):	1,53—1,93 „	1,873 „ .

Je nach äusseren Umständen ist die Beschaffenheit des Grünpressfutters eine verschiedene[1]). Eine hellgrüne Farbe, die in der Regel von stärker riechender Säure begleitet ist, deutet darauf hin, dass die Temperatursteigerung nicht bis annähernd 60° C. gelangt war. Ist die Farbe eine braune, so ist dies ein Zeichen dafür, dass die Erhitzung eine stärkere als beabsichtig, war. Der Geruch des normalen Pressfutters wird als brodartig, honigartig, dem des Pumpernickel, Johannisbrods, Schnupftabaks u. s. w. ähnlich bezeichnet, während derselbe bei zu geringer

[1]) *F. Albert.* Untersuchungen über Grünpressfutter. Jahrbuch der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft. 1891. 1. Theil.

Erwärmung säuerlich, bei zu starker jenem des Braunheues gleichkommt, kitzelnd und zum Niesen reizend ist. In Bezug auf die Structur zeigt sich die Pflanzenmasse wenig verändert, wenn die Selbsterhitzung die vorgeschriebenen Grade nicht überschritten hat. Abweichungen hiervon deuten immer auf Fehler bei der Herstellung des Futters hin.

Die Pressung des Futters wird am besten mittelst besonderer mechanischer Vorrichtungen in Feimen vorgenommen, weil in diesen die Temperatur sich ungleich leichter reguliren lässt als in unterirdisch angelegten Silos. Nach der Art, wie der Druck ausgeübt wird, lassen die betreffenden Apparate (Feimenpressen) zwei Gruppen derselben unterscheiden, nämlich: Pressen, welche einen continuirlichen Druck ausüben (selbstthätig wirkende) und solche, bei denen die Stärke des Druckes zeitweilig schwankt (nicht selbstthätig wirkende) [1]. Die Ueberlegenheit eines bestimmten Presssystems konnte in von *F. Albert* veranlassten Versuchen nicht nachgewiesen werden.

Bei der Herstellung von Feimen ist zunächst der Umstand zu berücksichtigen, dass die Menge des zu conservirenden Futtermaterials nicht zu gering sein darf, weil sonst die Bereitung des Pressfutters nicht gelingt und der nicht zu verhindernde Randabfall im Verhältniss zur Masse zu gross wird. Als niedrigste Grenzzahlen werden von *F. Albert* 30000 kg, von *G. Calberla* 100000 kg angegeben. In Bezug auf den Wassergehalt, bei welchem die Pflanzen in die Feimen einzubringen sind, gehen die Angaben sehr auseinander. Während auf der einen Seite empfohlen wird, die Pflanzen im angewelkten Zustande zu verwenden, begegnet man andererseits der Ansicht, dass das Futter so wasserreich als möglich sein müsse. Wie *F. Albert* mit Recht bemerkt, wird bei Beurtheilung dieser Frage die sonstige Beschaffenheit des Materials mit in Betracht zu ziehen sein, weil der Wassergehalt nicht allein für den Verlauf der Gährungsvorgänge entscheidend ist. Grobstenglige Pflanzen (wie z. B. der Mais), in welchen die Luft längeren Zutritt in die Pressmasse hat, werden bei einem höheren Wassergehalt zusammengebracht werden können als andere weniger grobstenglig gewachsene Futterpflanzen, die sich schneller fest zusammensetzen. Bei zu wasserhaltigen Materialien kann auch der Wasservorrath durch Dazwischenschichten geeigneter Materialien, wie Spreu und Stroh, gegebenen Falls verringert werden. Uebrigens scheint ein höherer Wassergehalt für den Erfolg durchaus nicht ungünstig zu sein, wie schon aus der Thatsache geschlossen werden darf, dass nach übereinstimmenden Berichten aus der Praxis sich selbst bei anhaltendem Regenwetter Pressfutter von normaler Beschaffenheit bereiten lässt, während gerade ein geringer Wassergehalt sehr verderblich wirken kann [2].

Von wesentlichem Belang für das Gelingen des Pressfutters ist der Umstand, dass die Pflanzen bei dem Aufbau der Feime eine möglichst gleichmässige Lagerung erhalten und dass besondere Sorgfalt auf den Aufbau der Ränder verwendet wird. Letztere müssen fest zusammengetreten und mit möglichst glatten Wänden hergestellt werden. Schliesslich muss die Futtermasse vor dem Auflegen des Pressapparates mit einer Strohdecke versehen werden, deren Mächtigkeit nach erfolgter Pressung

[1]) Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Feimenpressen enthält die citirte Arbeit von *F. Albert.*

[2]) Vergl. *F. Albert* a. a. O. S. 59 und *E. Wolff.* Landwirthschaftliche Jahrbücher. Bd. XXI. 1892. S. 45.

etwa 50 cm zu betragen hat. Eine solche Strohschicht ist auch als Unterlage zu geben, um die Feuchtigkeit aus dem Boden abzuhalten und die Beimischung von Erde zu verhindern.

Nachdem der Aufbau der Feime vollendet ist, tritt sehr bald eine starke Erwärmung in der Masse ein. Sobald dieselbe die Höhe von 60—65° C. erreicht hat, wird sie rasch durch entsprechende Steigerung des Druckes bis auf 50° C. vermindert und längere Zeit zwischen 40 und 50° C. erhalten. Dann sinkt allmählich die Temperatur und gleicht sich schliesslich mit derjenigen der umgebenden Luft aus[1]). Zur Feststellung des Ganges der Wärme, welche, wie leicht begreiflich, unerlässlich ist, dienen besonders zu diesem Zweck construirte, sogen. Ensilagethermometer[2]).

Im Anschluss an die vorstehenden Darlegungen über die Ausführung der verschiedenen Conservirungsmethoden und der denselben zu Grunde liegenden Principien erübrigt es nunmehr, der in praktischer Hinsicht wichtigen Frage näher zu treten, inwieweit die ursprünglich in den Futtermaterialien enthaltenen Bestandtheile bei der verschiedenen Behandlung in Quantität und Qualität eine Aenderung erfahren. Schon im Voraus wird man an der Hand unserer Kenntnisse über die Vorgänge bei der Athmung und Gährung zu der Ansicht gelangen müssen, dass bei den verschiedenen Bereitungsarten nicht allein ein Theil der organischen Substanzen durch Abspaltung gasförmiger Producte eine Verminderung, sondern auch nothwendigerweise eine chemische Umwandlung erfahren werde. Zunächst wäre es von Belang zu wissen, in welchem Umfange sich der Verlust an organischen Stoffen bei der Erwärmung und den verschiedenen Gährungsvorgängen vollzieht. Diese Frage kann natürlich nur durch Feststellung absoluter Werthe gelöst werden, und gerade in dieser Beziehung lassen die vorliegenden Untersuchungen, welche sich meistentheils lediglich auf die Bestimmung der procentischen Zusammensetzung der verschieden bereiteten Heusorten erstrecken, Vieles zu wünschen übrig.

Unter den verschiedenen Versuchen, welche am besten den bezeichneten Anforderungen entsprechen, verdienen zunächst jene von *H. Weiske*[3]) die grösste Beachtung. Derselbe operirte mit Esparsette, welche einerseits sorgfältig getrocknet, andererseits zu Braun- und Sauerheu verarbeitet wurde. Nach den analytischen Resultaten und unter Berücksichtigung der Erntemengen berechnet sich die Menge an Nährstoffen für einen Schnitt pro ha (in kg), wie folgt:

	Organische Substanz.	Rohprotein.	Stickstofffreie Bestandtheile.	Aetherextract	Rohfaser.
Sorgfältig getrocknet	5531,6	1092,4	2272,0	170,0	1997,0
Braunheu	4458,6	991,8	1680,8	233,4	1552,2
Sauerheu	4139,4	914,0	1381,0	269,2	1573,2.

[1]) Vergl. *F. Albert.* a. a. O. S. 17 u. 24.

[2]) Auf Grund der Beobachtung, dass bei Anwendung höherer Temperatur die Verdaulichkeit der Futtermaterialien in beträchtlichem Grade herabgedrückt wird, glaubt *F. Albert* (a. a. O.) annehmen zu sollen, dass eine Temperatur von 40—50° entsprechender wäre als eine solche von 60—66° C., zumal bei dieser Temperatur die Essigsäurebildung vermieden werde. Ob dadurch eine bessere Ausnutzung der Nahrungsstoffe herbeigeführt werden würde, ist jedoch mit Sicherheit noch nicht nachgewiesen.

[3]) *H. Weiske.* Journal für Landwirthschaft. 1877. p. 170.

Wie man sieht, findet bei der Braun- und Sauerheubereitung ein bedeutender Substanzverlust statt, der sich mit Ausnahme des Aetherextractes auf sämmtliche Bestandtheile erstreckt. In Procenten ausgedrückt, beträgt die Einbusse:

	Organische Substanz.	Roh-proteïn.	Stickstofffreie Bestandtheile.	Aether-extract.	Roh-faser.
Braunheu	19,4	9,2	26,0	+ 37,2	22,3
Sauerheu	25,4	16,3	39,2	+ 58,4	21,2.

Durch die Zersetzungsvorgänge sind demnach die stickstofffreien Stoffe in stärkstem Grade zerstört worden, dann folgt die Rohfaser, während das Rohproteïn die geringste, aber immerhin noch eine beträchtliche Verminderung erfahren hat. Die Zunahme des Aetherextractes beruht auf der Lösung der bei der Gährung gebildeten flüchtigen Fettsäuren. Im Uebrigen lässt sich aus diesen Zahlen deutlich erkennen, dass die Verluste bei der Sauerheubereitung beträchtlich grösser waren als bei der Herstellung des Braunheues.

Die Gährungsverluste können unter Umständen grösser, aber auch nicht unwesentlich kleiner ausfallen als in den vorstehend mitgetheilten Versuchen[1]). *Holdefleiss* berichtet über Beobachtungen beim Einsäuern von Grünmais und giebt die hierbei verloren gegangenen Mengen an organischer Substanz zu 40—50 % an. In den auf Veranlassung *M. Maercker*'s in der Provinz Sachsen mit Rübenschnitzeln ausgeführten Versuchen beliefen sich die Gewichtsverluste bei dem Einsäuern auf 17,7—62,1 % (Mittel 37,5 %) und für die einzelnen Bestandtheile auf:

14,6—56,5, im Mittel 37,8 % stickstofffreie Stoffe
8,9—51,8 „ „ 29,6 „ Rohfaser
4,5—39,7 „ „ 24,5 „ Rohproteïn.

Bei einem, von demselben Forscher ausgeführten Einsäuerungsversuch mit Kartoffeln, die zuvor zerschnitten wurden, ergab sich ein Verlust von 53,6 % im Gesammtgewicht, 22,7 % an Trockensubstanz, 24,6 % an stickstofffreien Nährstoffen, 25,9 % an Rohfaser und von 57,0 % an stickstoffhaltigen Bestandtheilen. Andererseits liegen aber auch Untersuchungen vor, in welchen die Verluste ungleich geringer waren. So fand *G. Liebscher* bei Rübenschnitzeln, dass dieselben nur eine Einbusse von 5,2—7,3 % an Gewicht erlitten hatten, und *A. Stutzer* bei der Herstellung von Sauerfutter aus schwedischem Klee (Trifolium hybridum) nur einen Verlust von 5,7 %.

Für die Beurtheilung der Brauchbarkeit der nach verschiedenen Verfahren hergestellten Heusorten kommt aber ausser der Veränderung ihrer stofflichen Zusammensetzung auch wesentlich die Verdaulichkeit derselben in Betracht. Inwieweit letztere bei der Braunheu- und Sauerheubereitung beeinflusst wird, lassen besonders die Versuche von *H. Weiske* deutlich erkennen. Derselbe verfütterte die verschiedenen aus Esparsette hergestellten Heusorten an Hammel und erhielt hierbei folgende Verdauungscoëfficienten:

	Organische Substanz.	Roh-proteïn.	Stickstofffreie Bestandtheile.	Aether-extract.	Roh-faser.
Sorgfältig getrocknet	61,82 %	71,24 %	76,32 %	66,46 %	39,28 %
Braunheu	59,15 „	63,51 „	67,04 „	75,64 „	45,29 „
Sauerheu	44,57 „	50,25 „	53,20 „	74,14 „	28,77 „.

[1]) *E. Pott.* a. a. O. S. 100—105.

Durch diese Zahlen wird eine beträchtliche Verminderung der Verdaulichkeit der auf Braun- oder Sauerheu verarbeiteten Futtermaterialien constatirt, und zwar ist diese bei letzterem bedeutender als bei jenem. Nur die in Aether löslichen Bestandtheile sind bei diesen Heusorten in höherem Maasse ausgenutzt worden als in den sorgfältig getrockneten Pflanzen.

Werden nach diesen Daten die für einen Schnitt pro ha (in kg) gewonnenen Mengen an wirklich verdaulichen Nährstoffen berechnet, so ergeben sich folgende Zahlen:

	Organische Substanz.	Roh-proteïn.	Stickstofffreie Bestandtheile.	Aether-extract.	Roh-faser.
Sorgfältig getrocknet	3409,6	778,2	1734,0	113,0	784,4
Braunheu	2636,1	629,9	1126,8	176,5	702,9
Sauerheu	1846,2	459,3	734,7	199,6	452,6.

Die Veränderungen, welche die Mengen der verdaulichen Bestandtheile des Futters bei den letzteren beiden Bereitungsverfahren erleiden, berechnen sich hiernach in Procenten, wie folgt:

	Organische Substanz.	Roh-proteïn.	Stickstofffreie Bestandtheile.	Aether-extract.	Roh-faser.
Braunheu	—22,7	—19,1	—35,0	+56,2	—10,4
Sauerheu	—45,9	—40,9	—57,6	+76,7	—42,3.

Die durch die Erhitzung und die Gährung hervorgerufenen Verluste treten in diesen Zahlen noch drastischer hervor als in denjenigen, welche aus der Zusammensetzung der Heusorten berechnet sind, und zwar war die Menge der nutzbaren Bestandtheile bei der Sauerheubereitung in viel bedeutenderem Grade verringert als bei der Braunheugewinnung.

Analog, wie die beiden bisher betrachteten Gährfutterarten, muss sich nothwendigerweise auch das nach ähnlicher Methode gewonnene Grünpressfutter verhalten. In der That ist dies der Fall, wie besonders die Ergebnisse der von *F. Albert*[1]) veröffentlichten Versuche darthun. In der nebenstehenden Tabelle sind die betreffenden Resultate zusammengestellt und darin als brauchbares Pressfutter nur die wirklich verfütterten Mengen angegeben, während aller unbrauchbare Abfall mit den Gährungsverlusten als Gesammtverlust angegeben ist.

Sonach wurde bei der Gewinnung des Pressfutters gleichergestalt wie bei derjenigen des Sauerheues ein bedeutender Verlust herbeigeführt und die Verdaulichkeit der Eiweissstoffe in beträchtlichem Grade vermindert. Die bezüglichen Verluste sind bei dem Grünpressfutter nicht allein den Wirkungen der Selbsterhitzung und der Gährungsvorgänge zuzuschreiben, sondern werden überdies einerseits durch den bei der Pressung ablaufenden Saft, andererseits durch den Abfall von verdorbenen, unbrauchbaren Futtertheilen an den Rändern der Feimen herbeigeführt.

In dem Bisherigen ist zur Vereinfachung der Darstellung hauptsächlich nur auf die Veränderungen der Futtermasse in quantitativer Hinsicht Rücksicht genommen worden. Dass auch solche in der Qualität des gewonnenen Productes in die Erscheinungen treten, lässt sich bereits aus der Verminderung der Verdaulichkeit der einzelnen Bestandtheile des Gährfutters gegenüber dem frischen oder sorgfältig getrockneten Material ersehen. Ueber die Art der Umbildungen im Speciellen liegen

[1]) *F. Albert*. a. a. O. S. 84.

		Gesammtgewicht.		Zusammensetzung der Trockensubstanz.								
								Von Rohproteïn sind vorhanden als			Verdaulich	
		frisch. kg	Trockensubstanz. kg	Asche. kg	Rohfaser. kg	Stickstofffreie Bestandtheile kg	Rohproteïn. kg	Eiweiss. kg	Nicht-Eiweiss. kg	flüchtige Ammoniakverbindungen. kg	vom Rohproteïn. %	von Eiweiss. %
Wiesengras Gröbzig	Frisches Material . .	10620	5915,5	511,7	1810,7	3003,0	589,8	524,7	65,1	—	70,1	66,4
	Brauchbares Pressfutter	3460	2552	263,5	905,6	1039,3	343,8	304,6	39,2	—	22,0	11,9
	Verlust in %	**67,4**	**56,9**	**48,5**	**50,0**	**65,4**	**41,7**	**41,9**	**39,8**	—	—	—
Rothklee Gröbzig	Frisches Material . .	18515	5206,5	543,8	1260,1	2358,3	1044,3	884,7	159,6	—	86,1	83,6
	Brauchbares Pressfutter	6700	2540	272,7	976,0	622,4	668,9	430,1	136,3	102,5	34,9	22,6
	Verlust in %	**63,8**	**51,2**	**49,8**	**22,5**	**25,9**	**35,9**	**51,4**	**14,6**	(15,3% v. Rohprot.)	—	—
Wundklee Münchenhof	Frisches Material . .	33855	7428	660,4	2496,6	3141,3	1129,8	875,8	254,0	—	82,6	77,5
	Brauchbares Pressfutter	6700	2124	163,8	874,2	758,5	327,5	189,7	90,7	47,1	41,4	23,6
	Verlust in %	**80,2**	**71,4**	**75,2**	**65,0**	**75,5**	**31,0**	**78,3**	**64,3**	(14,4% v. Rohprot.)	—	—
Mais Münchenhof	Frisches Material . .	114835	22094	1411,8	6801,3	12633,6	1157,8	755,6	402,1	—	73,9	59,9
	Brauchbares Pressfutter	45875	10799	582,1	3901,9	5503,2	808,9	517,3	263,5	28,08	52,4	31,1
	Verlust in %	**60,0**	**51,1**	**58,8**	**43,3**	**56,4**	**30,1**	**31,5**	**34,5**	(3,4% v. Rohprot.)	—	—
Rübenköpfe Münchenhof.	Frisches Material . .	154325	41390	18774,5	5471,8	13724,9	3418,8	2446,1	972,7	—	72,0	60,9
	Brauchbares Pressfutter	63335	24757	13760,2	2507,9	6951,9	1537,4	925,9	314,4	297,1	57,5	61,5
	Verlust in %	**58,9**	**40,2**	**26,7**	**44,1**	**49,3**	**55,0**	**62,1**	**67,7**	(19,3% v. Rohprot.)	—	—

zur Zeit nur spärliche Beobachtungen vor. Am zuverlässigsten sind jene, welche sich auf die Abänderung der stickstoffhaltigen Bestandtheile erstrecken. Durch die verschiedenen Zersetzungsvorgänge werden dieselben, wie sich dies schon a priori vermuthen liess, in einfachere chemische Verbindungen übergeführt, wobei schliesslich ein Theil der stickstoffhaltigen Stoffe in Form von Ammoniak und unter Umständen wahrscheinlich auch unter Abspaltung von freiem Stickstoff verflüchtigt wird. Das Material hierzu liefern vornehmlich die nicht-eiweissartigen Bestandtheile (Amidstoffe). Hinsichtlich des Verhaltens der Eiweissstoffe ist durch verschiedene Beobachtungen nachgewiesen worden, dass ein mehr oder weniger grosser Theil derselben bei den Gährungsvorgängen in nicht-eiweissartige Stoffe übergeführt wird. Es lässt sich dies besonders aus der Thatsache schliessen, dass die verschiedenen Gährfutterarten relativ reicher an diesen Bestandtheilen und ärmer an Eiweissstoffen sind. So fand z. B. *A. Stutzer* [1]) bei Rothklee, dass von 100 Gewichtstheilen Rohproteïn vorhanden waren als

	im Dürrheu	im Pressfutter.
Amide	17,7	43,3
leicht verdauliche Eiweissstoffe . .	51,8	35,9.

Die Umbildungen der stickstofffreien Extractstoffe und der Rohfaser sind bis jetzt nicht näher untersucht worden. Von beiden Gruppen wird ein Theil natürlich für die Oxydationsvorgänge und von ersterer zur Bildung der flüchtigen und nichtflüchtigen Säuren verwendet.

Ueberblickt man die im Bisherigen mitgetheilten Thatsachen, so ergiebt sich mit voller Deutlichkeit, dass bei den verschiedenen Heuwerbungsmethoden, bei welchen eine Selbsterhitzung und eine Gährung in den aufgespeicherten Futtermassen herbeigeführt wird, meistens namhafte Verluste entstehen, die sich auf sämmtliche Bestandtheile mit Ausnahme der in Aether löslichen erstrecken, und dass gleichzeitig die Verdaulichkeit der Nährstoffe eine nicht unbeträchtliche Verminderung erfährt, sowie auch in der stofflichen Zusammensetzung Veränderungen hervorgerufen werden, welche gleichergestalt mit einer Abnahme der Nährwirkung des Futters verknüpft sind. Allerdings sind bei dem gewöhnlichen Verfahren (Dürrheubereitung) selbst unter günstigen Witterungsverhältnissen Substanzverluste, z. B. durch Abfall eines Theils der Blätter besonders bei den kleeartigen Gewächsen, nicht zu vermeiden, aber diese Verluste sind bei sachgemässer Behandlung der zu trocknenden Futterpflanzen doch bedeutend geringer als jene, welche bei der Herstellung des Gährfutters eintreten. Rechnet man die Unsicherheit des Gelingens aller auf Selbsterhitzung und Gährung beruhenden Heubereitungsverfahren hinzu, so wird man der Anschauung, dass das Trocknen der Grünfutterpflanzen an der Luft bei einigermaassen günstiger Witterung allen übrigen Conservirungsmethoden stets vorzuziehen ist und dass die Herstellung von Braunheu, Sauerheu und Grünpressfutter nur als ein Nothbehelf unter extrem ungünstigen Witterungs- und klimatischen Verhältnissen zu betrachten ist, sicherlich die Anerkennung nicht versagen können.

Wenn die Zulässigkeit der letzteren Methoden nur für aussergewöhnlich ungünstige äussere Umstände zugegeben wird, so ist hierbei die Möglichkeit, den

[1]) *E. Pott.* a. a. O. S. 112.

Einfluss feuchter Witterung auch bei der Dürrheubereitung nachhaltig beseitigen zu können, in das Auge gefasst. Dass es gelingt, die Auswaschungen von Nährstoffen oder das Verderben der Futterpflanzen unter Witterungsverhältnissen, welche die Trocknung erschweren, mit Sicherheit zu beseitigen, beweisen die zahlreichen praktischen Erfahrungen, welche bei der Benützung von Gerüsten (Reitern) gemacht worden sind. Das in solcher Weise gewonnene Heu besitzt unter Umständen nicht allein die Zusammensetzung des Braunheues, sondern auch wegen grösserer Verdaulichkeit der Bestandtheile einen wesentlich höheren Nutzungswerth, wie durch einen Versuch von *G. Kühn*[1]) nachgewiesen wurde. Die procentische Zusammensetzung beider Heusorten war folgende:

	Rohproteïn.	Stickstofffreie Extractstoffe.	Rohfett.	Rohfaser.	Mineralstoffe.
Reiterkleeheu	18,94	40,09	2,79	31,43	6,75
Kleebraunheu	18,69	39,49	2,03	33,04	6,75.

Die Verdaulichkeit der einzelnen Bestandtheile betrug:

	Trockensubstanz.	Organische Substanz.	Rohproteïn.	Stickstofffreie Extractstoffe.	Rohfett.	Rohfaser.
Reiterkleeheu	52,7	55,1	60,4	62,7	51,0	42,5
Kleebraunheu	45,0	47,4	32,0	55,7	43,3	46,4.

Hiernach berechnet sich die Menge der verdaulichen Bestandtheile in 100 Theilen, wie folgt:

	Trockensubstanz.	Organische Substanz.	Rohproteïn.	Stickstofffreie Extractstoffe.	Rohfett.	Rohfaser.
Reiterkleeheu	52,7	51,4	**11,44**	25,14	1,42	13,36
Kleebraunheu	45,0	44,2	**5,98**	22,00	0,88	15,33.

Demgemäss war die Verdaulichkeit der Bestandtheile, mit Ausnahme der Rohfaser, bei dem auf Reitern getrockneten Heu nicht unwesentlich besser und bezüglich des Rohproteïns sogar um 50 % höher als bei dem Braunheu. Angesichts dieser Thatsachen wird behauptet werden dürfen, dass die Heubereitung auf Gerüsten für die grünen Futtergewächse als eines der vortheilhaftesten Verfahren zu betrachten ist, weil dasselbe eine grosse Sicherheit bietet, die Trocknung der Pflanzen auch unter weniger günstigen Witterungsverhältnissen zu bewirken. Die Kosten für die Anschaffung der Gerüste[2]) werden hinlänglich gedeckt durch den Gewinn an denjenigen Nährstoffen, welche bei den anderen Heuwerbungsmethoden verloren gehen. Letztere verdienen nur dort angewendet zu werden, wo die Trocknung auf Reitern unmöglich ist, also in einem sehr feuchten Klima oder bei ungewöhnlich nasser Witterung. Welchem Verfahren in diesem Falle der Vorzug einzuräumen sei, lässt sich in Rücksicht auf die Verschiedenheiten in Bezug auf die Nährstoffverluste je nach äusseren Umständen schwer beurtheilen. So weit sich

[1]) G. *Kühn*. Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Bd. XLIV. 1894. S. 2.

[2]) Die Kosten einer aus drei Stangen von 3 m Länge hergestellten Pyramide sammt Querhölzern betragen ca. 3–4 Mark. Demnach berechnen sich die Auslagen, da etwa 30–40 Gerüste pro ha nothwendig sind, auf 90–115 Mark und die jährlichen Ausgaben bei 15% für Verzinsung, Reparaturen und Abnutzung auf 13,5–17,25 Mark pro ha.

diese Verhältnisse auf Grund der bisherigen Untersuchungen überblicken lassen, besitzt die Braunheubereitung hinsichtlich der Erhaltung und der Verdaulichkeit der Nährstoffe des Productes mancherlei Vorzüge vor der Sauerheu- und Pressfutterbereitung, doch gereicht der Umstand ihr zum Nachtheil, dass die Futtermaterialien vor der Aufschichtung angewelkt werden müssen.

Schliesslich darf nicht unerwähnt bleiben, dass gewisse wasserreiche Futtermittel, wie die Lupinen, die Rübenblätter, der Grünmais, erfrorene Rüben und Kartoffeln, Rübenschnitzel, Biertreber u. s. w., sich auf gewöhnliche Art nicht trocknen lassen und aus diesem Grunde auf Sauerheu oder Pressfutter verarbeitet werden müssen, falls es nicht gelingt, dieselben künstlich zu trocknen, ein Verfahren, welches bei Biertrebern und Rübenschnitzeln bereits mit Erfolg in Anwendung gebracht worden ist.

Register.

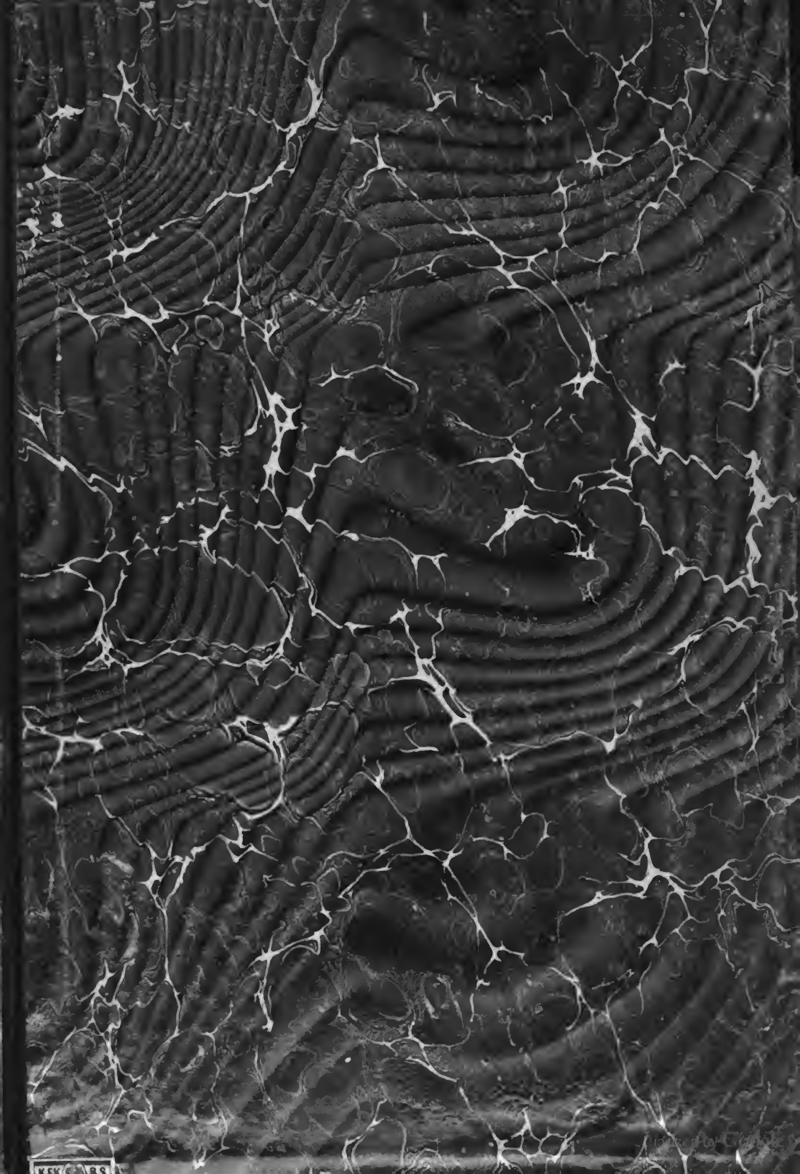
Druckfehler.

Es muss heissen:

S. 8 Zeile 11 von oben: Methan statt: Menthan.
S. 54 " 5 " oben: } Pilobolus statt: Pilolobus.
S. 90 " 4 " unten: }
S. 90 " 12 " unten: Bacillus statt: Micrococcus.
S. 199 " 20 " oben: Pampas statt: Pampasse.
S. 227 " 16 " oben: S. 207 statt: 107.
S. 232 " 16 " oben: nicht erkennbar statt: mit erkennbar.
S. 234 " 6 " oben: enthalten statt: erhalten.
S. 236 " 18 " unten (ferner in der Anmerkung), sowie
S. 238 " 20 " unten und S. 239, Zeile 3 von oben: *F. Sitensky* statt: *P. Sitensky*.
S. 375 " 1 " unten, 5. Rubrik: 51,5 statt: 31,5.

C. F. Winter'sche Buchdruckerei.






Google